

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI MINERALOGIA E PETROLOGIA

Tesi di Dottorato in Scienze della Terra - VIII Ciclo -

Dr. Antonella Zane

**VARIAZIONI COMPOSITIVE
NELLE CLORITI DI BASSO GRADO METAMORFICO**

Tutore: Prof. F.P. Sassi
Co-tutore: Prof. G. Molin

Ciclo di Studi 1992-95

Ai miei genitori

INDICE

1. INTRODUZIONE	Pag.	1
2. ARTICOLAZIONE DELLA RICERCA.....	Pag.	3
3. STRUTTURA E CRISTALLOCHIMICA DELLE CLORITI.....	Pag.	5
3.1 CARATTERI STRUTTURALI E COMPOSITIVI GENERALI	"	5
3.2 POLITIPISMO	"	8
3.2.1 Nomenclatura secondo Bailey & Brown (1962).....	"	8
3.2.2 Nomenclatura secondo la teoria OD (Dornberger-Schiff, 1964).....	"	14
3.2.3 Identificazione mediante RX dei politipi della clorite.....	"	16
3.3 CHIMISMO DELLE CLORITI.....	"	20
3.3.1 Sostituzioni e ampiezza delle soluzioni solide.....	"	20
3.3.2 Vacanze strutturali	"	22
3.3.3 Fe ³⁺	"	22
3.3.4 Calcolo della formula.....	"	24
3.4 RELAZIONE TRA VARIAZIONI DEL CHIMISMO E VARIAZIONI STRUTTURALI.....	"	24
3.4.1 Relazione tra chimismo e parametri di cella.....	"	24
3.4.2 Relazione tra chimismo e intensità dei picchi in diffrazione RX.....	"	27
3.5 CLASSIFICAZIONE DELLE CLORITI.....	"	29
4. LE CLORITI METAMORFICHE: UNA RASSEGNA DELLE CONOSCENZE PRECEDENTI.....	Pag.	37
5. DATI CHIMICI UTILIZZATI	Pag.	46
5.1 ANALISI CHIMICHE TRATTE DALLA LETTERATURA	"	46
5.2 NUOVE ANALISI CHIMICHE.....	"	48
6. PETROGRAFIA DEI CAMPIONI UTILIZZATI	Pag.	50
6.1 STRATEGIA DI CAMPIONATURA ED INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	"	50
6.2 POPOLAZIONE DI CAMPIONI DI BASSA PRESSIONE: PETROGRAFIA ED INTERVALLI DI TEMPERATURA.....	"	52
6.2.1 Le metapeliti.....	"	52
6.2.2 Le metabasiti.....	"	63
6.2.3 Le metarioliti	"	72
6.3 POPOLAZIONE DI CAMPIONI DI PRESSIONE INTERMEDIA: PETROGRAFIA ED INTERVALLI DI TEMPERATURA.....	"	81
6.3.1 Le metapeliti.....	"	81
6.3.2 Le metabasiti.....	"	86
6.4 POPOLAZIONE DI CAMPIONI DI ALTA PRESSIONE: PETROGRAFIA ED INTERVALLI DI TEMPERATURA	"	91
6.4.1 Le metapeliti.....	"	91
6.4.2 Le metabasiti.....	"	93
7. CHIMISMO DELLE CLORITI METAMORFICHE: DATI TRATTI DALLA LETTERATURA	Pag.	95

8. OSSERVAZIONI IN MICROSCOPIA ELETTRONICA A TRASMISSIONE	Pag.	125
8.1 INTRODUZIONE.....	"	125
8.2 PROCEDURE ANALITICHE.....	"	126
8.2.1 Preparazione dei campioni e condizioni analitiche.....	"	126
8.2.2 Effetti di diffrazioni elettronica SAED ("Selected Area Diffraction Pattern").....	"	126
8.2.3 Immagini ad alta risoluzione ("Lattice Fringe").....	"	128
8.2.4 Microscopia elettronica analitica (AEM)	"	129
8.3 OSSERVAZIONI AL T.E.M.....	"	130
8.3.1 Campione CA-5 (da una metapelite del Comelico).....	"	130
8.3.2 Campione 16 (da una metapelite di Recoaro).....	"	134
8.3.3 Campione REC4 (da una metabasite di Recoaro).....	"	137
8.3.4 Campione Lu82-10 (da una metapelite di Lusón)	"	144
8.3.5 Campione Ro1 (da una metabasite di Rodengo).....	"	144
9. CHIMISMO DELLE CLORITI DELLA FACIES DEGLI SCISTI VERDI:		
NUOVI DATI	Pag.	149
9.1 INTRODUZIONE.....	"	149
9.2 PROCEDURE ANALITICHE.....	"	150
9.3 CHIMISMO DELLE CLORITI DI BASSA PRESSIONE.....	"	152
9.3.1 Cloriti di metapeliti.....	"	152
9.3.1.1 Gruppi di bassa temperatura.....	"	152
9.3.1.2 Gruppo di temperatura intermedia.....	"	171
9.3.1.3 Gruppi di alta temperatura.....	"	180
9.3.2 Cloriti di metabasiti.....	"	193
9.3.2.1 Gruppi di bassa temperatura.....	"	193
9.3.2.2 Gruppi di alta temperatura	"	202
9.3.3 Cloriti di metarioliti.....	"	212
9.3.3.1 Gruppo di bassa temperatura.....	"	212
9.3.3.2 Gruppi di temperatura intermedia.....	"	218
9.3.3.3 Gruppo di alta temperatura.....	"	232
9.4 CHIMISMO DELLE CLORITI DI PRESSIONE INTERMEDIA	"	243
9.4.1 Cloriti di metapeliti.....	"	243
9.4.1.1 Gruppo di bassa temperatura	"	243
9.4.1.2 Gruppo di temperatura intermedia.....	"	246
9.4.1.3 Gruppo di alta temperatura.....	"	251
9.4.2 Cloriti di metabasiti.....	"	259
9.4.2.1 Gruppi di bassa temperatura.....	"	259
9.4.2.2 Gruppo di alta temperatura.....	"	265
9.5 CHIMISMO DELLE CLORITI DI ALTA PRESSIONE.....	"	268
9.5.1 Cloriti di metapeliti.....	"	268
9.5.1.1 Gruppo di bassa temperatura	"	268
9.5.1.2 Gruppo di temperatura intermedia.....	"	272
9.5.2 Cloriti di metabasiti.....	"	277
9.5.2.1 Gruppo di alta temperatura	"	277
9.6 ANDAMENTI GENERALI.....	"	281

10. ANALISI IN DIFFRAZIONE RX SU POLVERI.....	Pag.	300
10.1 PROCEDURE ANALITICHE	"	300
10.2 DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO IN ATOMI PESANTI.....	"	302
10.3 DETERMINAZIONE DEL POLITIPISMO (CON RIFERIMENTO ALLA TEORIA OD).....	"	307
11. SPETTROSCOPIA MÖSSBAUER.....	Pag.	316
12. CONCLUSIONI RIASSUNTIVE	Pag.	318
13. BIBLIOGRAFIA	Pag.	326

SECONDO VOLUME

14. APPENDICE	Pag.	1
14.1 DIFFRATTOMETRIA RX SU POLVERI.....	"	1
14.1.1 Fattori di struttura.....	"	1
14.1.2 Diffrattogrammi calcolati ed osservati e relativi dati numerici.....	"	9
14.2 CHIMISMO DELLE CLORITI: DATI TRATTI DALLA LETTERATURA (555 analisi).....	"	17
14.2.1 Cloriti di metapeliti.....	"	17
14.2.2 Cloriti di metabasiti.....	"	26
14.2.3 Cloriti di rocce felsiche.....	"	33
14.3 CHIMISMO DELLE CLORITI: NUOVI DATI (2365 analisi).....	"	35
14.3.1 Cloriti di metapeliti.....	"	35
14.3.2 Cloriti di metabasiti.....	"	99
14.3.3 Cloriti di rocce felsiche.....	"	146
14.4 FONTI BIBLIOGRAFICHE DEI DATI CHIMICI TRATTI DALLA LETTERATURA.....	"	173

1. INTRODUZIONE

La clorite è un minerale praticamente ubiquitario in tutte le sequenze rocciose di vario grado e vario tipo barico di metamorfismo, con esclusione della fascia termica di più alta temperatura della facies anfibolitica oltre che, ovviamente, delle granuliti. Tuttavia, se da un lato il suo campo di stabilità è relativamente ben noto, le conoscenze sul significato petrologico del chimismo di questo minerale nelle rocce metamorfiche sono alquanto scarse. Il lavoro di LAIRD (1988), inteso a districare questa complessa problematica, non ha soddisfatto le aspettative della comunità scientifica interessata, in parte anche per la carenza di dati analitici e per la loro eterogenea qualità. Solo per le metapeliti di bassa pressione e di grado metamorfico medio-alto esiste un rigoroso inquadramento del problema (GUIDOTTI *et al*, 1991). Rimaneva quindi sostanzialmente scoperta la fascia termica di bassa temperatura, situazione particolarmente grave se si tiene conto del fatto che nelle rocce di basso grado metamorfico la clorite è minerale diffusissimo e che la composizione mineralogica di queste rocce, semplice ed a basso numero di fasi, non offre molte possibilità di indagine petrologica approfondita. La presente tesi è un contributo a colmare questo vuoto.

Le ricerche svolte per questa tesi hanno richiesto una notevole mole di lavoro, dalla documentazione bibliografica, ad una cospicua parte sperimentale di varia tipologia, alla elaborazione di dati.

In tutto questo lavoro ho ricevuto il sostegno e l'aiuto di molti ai quali intendo esprimere i miei ringraziamenti.

Desidero ringraziare innanzitutto il mio tutore Prof. F.P. Sassi per avermi offerto l'opportunità di svolgere questo lavoro, per aver concepito e sostenuto il suo taglio multidisciplinare, e per il sostegno datomi sia scientifico che umano. Rivolgo inoltre un sincero ringraziamento al mio co-tutore Prof. G. Molin, per avermi guidato nell'affrontare gli aspetti mineralogici di questa ricerca e per gli innumerevoli consigli. Un particolare ringraziamento desidero rivolgere al Dr. Raffaele Sassi per la continua disponibilità sia in termini di conoscenza che di tempo riservatami fin dalla tesi di laurea, nonché per l'assistenza durante la raccolta dei campioni.

Desidero inoltre esprimere sinceri ringraziamenti ai tanti che mi hanno aiutato in vario modo:

Prof. C. Chopin, Prof. D. Fettes, Prof. C. Graham, Prof. B. Harte, Prof. Gp. De Vecchi, Prof. P. Frizzo e Dr. S. Meli per avermi fornito campioni di rocce;

Dr. C. Mazzoli per aver reso disponibili alcuni dati inediti;

Prof. Mellini e Dr. Cecilia Viti per l'assistenza nel lavoro sperimentale in diffrazione

elettronica presso l'Università di Siena;

Dr. G. Pedrazzi dell'Università di Parma per avermi fornito i dati dello studio in spettroscopia Mössbauer;

Prof. M.F. Brigatti e Dr. Elisa Alietti per avermi introdotto alla microscopia elettronica presso l'Università di Modena;

Prof. M. Rieder dell'Università Carlo di Praga e Prof. Z. Weiss dell'Università Tecnica di Ostrava per l'assistenza nel lavoro sperimentale in diffrazione RX durante il mio soggiorno nella Repubblica Ceca;

A. Giaretta per le analisi chimiche; R. Rizzieri per la preparazione dei concentrati di clorite; L. Tauro per la paziente cura nella preparazione, a volte molto difficile, delle sezioni lucide; e soprattutto R. Carampin per l'assistenza durante le analisi alla microsonda elettronica;

Dr. C. Brogiato per aver curato le stampe delle immagini e degli spettri di diffrazione T.E.M.

Desidero inoltre ricordare con sincera gratitudine tutti coloro che generosamente ed incondizionatamente mi hanno aiutata e sostenuta in questa "corsa finale": Dr. A. Carlin, Dr. B. Cesare, Dr. C. Mazzoli, Dr. D. Pasqual, Dr. R. Spiess ed i generosissimi Dr. S. Meli, Dr. L. Peruzzo, Dr. G. Rizzo e Dr. R. Sassi. Un grazie anche a Lia per il tempo dedicatomi. Infine un ringraziamento a Renato per avermi supportato e sopportato nella fase finale di questo lavoro.

Ringrazio infine il Centro di Studi per la Geodinamica Alpina del C.N.R. ed il Dipartimento di Mineralogia e Petrologia per l'accesso consentito ai vari laboratori analitici e servizi tecnici.

Questa ricerca ha beneficiato di sostegno finanziario MURST 60%.

2. ARTICOLAZIONE DELLA RICERCA

Una più precisa definizione degli scopi di questa tesi consente una più ovvia descrizione delle modalità e degli stadi secondo cui la presente ricerca è stata articolata. Gli scopi individuati fin dall'inizio erano quelli di:

- 1) acquisire numerosi nuovi dati analitici al fine di studiare l'entità delle soluzioni solide delle cloriti in rocce di composizione comune e di basso grado metamorfico;
- 2) comprendere in che misura il chimismo delle cloriti metamorfiche di basso grado è controllato dal chimismo del microsistema nel quale la clorite è cristallizzata e in che misura invece dalle variabili intensive.

Al fine di raggiungere questi scopi, è stato anzitutto necessario svolgere una estesa ricerca bibliografica mirata in tre direzioni:

- 1) un attento studio dei dati di letteratura sulla cristallografia e cristallochimica delle cloriti;
- 2) una rassegna delle conoscenze precedenti sulle cloriti metamorfiche;
- 3) acquisizione di dati chimici dalla letteratura.

Lo stadio successivo ha previsto la progettazione, in chiave petrologica, della popolazione di campioni di rocce da utilizzare per le nuove indagini analitiche sulle cloriti. Parte di questi campioni è stata raccolta direttamente e parte chiesta ai diversi autori.

Nel frattempo, data l'importanza che avrebbe rivestito ai fini di questo studio l'affidabilità del dato chimico di microsonda elettronica (EMPA), sono state ottimizzate le condizioni analitiche da adottare in funzione dei requisiti di precisione ed accuratezza del dato.

Sono state inoltre preparate sezioni sottili lucide di rocce per lo studio petrografico e per le successive analisi EMPA e le sezioni sottili adatte allo studio in microscopia elettronica a trasmissione. Infine, sono stati separati i concentrati di clorite di alcuni campioni per le varie esigenze (diffrazione RX su polveri, spettroscopia Mössbauer).

La fase analitica vera e propria è iniziata con lo studio petrografico delle sezioni sottili con il triplice obiettivo di: 1) riconoscere la storia metamorfico-evolutiva di ogni campione, 2) stimarne le condizioni P e T, 3) scegliere e fotografare i numerosi microsit nei quali effettuare l'analisi in microsonda elettronica, scegliere le lamelle di clorite per le analisi in microscopia elettronica a trasmissione.

Successivamente sono stati condotti gli studi al T.E.M. presso il Dipartimento di Scienze della Terra di Siena; a tal fine è stato seguito un corso specialistico presso l'Università di Modena. Nel contempo sono state avviate le 2365 analisi alla microsonda

elettronica, condotte in un lungo intervallo di tempo ma in condizioni analitiche sempre controllate.

Durante l'ultimo anno di questa ricerca, ho effettuato un periodo di soggiorno all'estero grazie al quale ho potuto approfondire le conoscenze sulle metodologie analitiche in diffrazione RX (cristallo singolo e polveri) e di realizzare delle analisi RX su concentrati di clorite presso il Dipartimento di Geochimica, Mineralogia, Risorse Minerali di Praga, Repubblica Ceca (Prof. M. Rieder) e presso il Central Analytical Laboratory dell'Università Tecnica di Ostrava, Repubblica Ceca (Prof. Z. Weiss).

Nella fase successiva le due banche dati, quella di dati EMPA tratti dalla letteratura (555 analisi) e quella di dati EMPA da me prodotti (2365) sono state variamente elaborate.

Infine, nello stadio finale, tutti i risultati ottenuti dai vari metodi analitici sono stati considerati nel loro insieme e commentati.

3. STRUTTURA E CRISTALLOCHIMICA DELLE CLORITI

3.1 CARATTERI STRUTTURALI E COMPOSITIVI GENERALI

I primi studi sulla struttura delle cloriti, condotti da MAUGUIN (1928, 1930), PAULING (1930), MC MURCHY (1934), VON ENGELHARDT (1942) ed altri, hanno consentito di stabilire che, come schematizzato in FIG. 3.1, l'impalcatura tridimensionale della clorite è costituita dal regolare alternarsi di strati "tipo talco" $R_6Z_8O_{20}(OH)_4$ (oggi definiti pacchetto 2:1) e di strati "tipo brucite" $R_6(OH)_{12}$ (oggi definiti interstrato) dove:

$R = \text{Mg, Fe, Al}$ (occasionalmente $\text{Cr, Mn, V, Ni, Cu, Zn, Ti, Li}$)

$Z = \text{Si}$, parzialmente sostituito da Al ed occasionalmente (BAILEY, 1988) da Fe^{3+} , B^{3+} , Zn^{2+} , Be^{2+} .

Si ritiene opportuno precisare che in questo lavoro ci si è riferiti alla nomenclatura suggerita dagli studiosi italiani che aderiscono alla Commissione per la Nomenclatura dell'AIPEA (Association Internationale Pour l'Etude des Argiles). Vengono pertanto adottate le seguenti traduzioni dall'inglese:

"plane" = piano

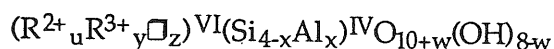
"sheet" = strato

"layer " = pacchetto

"interlayer" = interstrato

"structural unit" = unità strutturale.

Dato che la composizione chimica delle cloriti può presentare diversi tipi di sostituzioni, vacanze nella struttura e variazioni nel numero teorico di ossigeni (o ossidrili), la formula generale di questo minerale viene oggi rappresentata come segue (WIEWIÓRA & WEISS (1990) modificata da DE CARITAT *et al.* 1993):



dove:

$$u+y+z = 6$$

$$z = (y-w-x)/2$$

$\square$ = vacanze ottaedriche

R^{2+} = principalmente Mg^{2+} , Fe^{2+}

R^{3+} = principalmente Al^{3+} , Fe^{3+}

La porzione tetraedrica del pacchetto 2:1, a seguito della sostituzione di Si^{4+} con Al^{3+} , presenta una carica elettrostatica negativa che viene neutralizzata dalla carica positiva acquistata dall'interstrato a seguito della sostituzione di R^{2+} con R^{3+} . La condizione

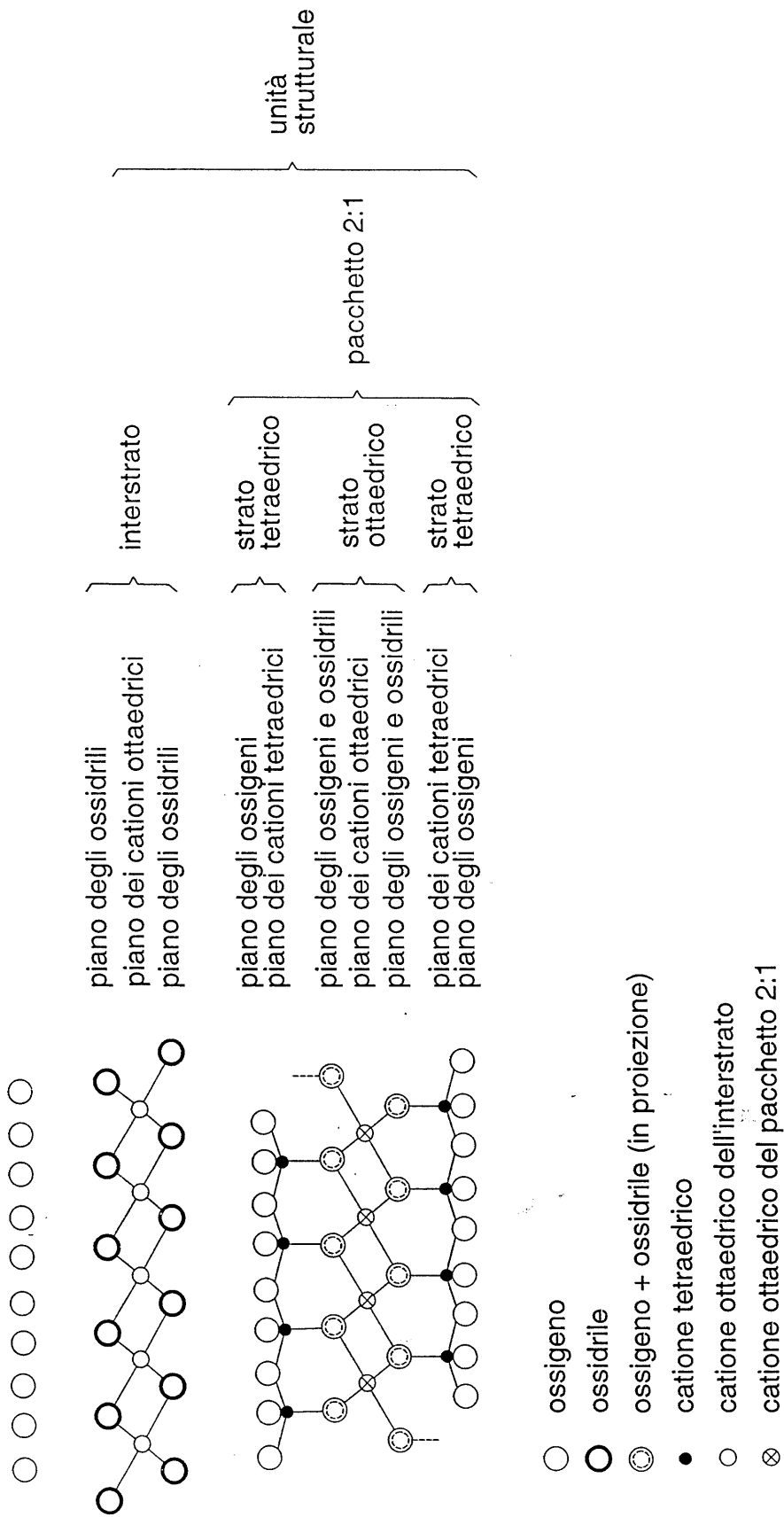


FIG. 3.1. Proiezione [010] della struttura della clorite (Ridisegnata da BAILEY, 1988).

stabile nella struttura della clorite prevede una carica totale di -1.0 per il pacchetto 2:1 e +1.0 per l'interstrato (BAILEY, 1988 e letterat.cit.). Per raggiungere tale condizione, anche lo strato ottaedrico del pacchetto 2:1 può assumere una certa carica elettrostatica, che può essere positiva o negativa a seconda che la carica tetraedrica sia rispettivamente maggiore o minore di -1.0. Oltre alle interazioni elettrostatiche tra pacchetto 2:1 ed interstrato appena citate, nella struttura della clorite esistono altre interazioni elettrostatiche: esse sono costituite da legami H che vengono a formarsi tra gli ossidrili dell'interstrato e gli ossigeni basali dei pacchetti 2:1 sopra- e sottostanti.

FOSTER (1962) riteneva che i cationi ottaedrici fossero ripartiti equamente tra lo strato ottaedrico del pacchetto 2:1 e l'interstrato, mentre dagli studi su cristallo singolo di STEINFINK (1958a,b; 1961), JOSWIG *et al.* (1980), PHILLIPS *et al.* (1980), RULE & BAILEY (1987), JOSWIG *et al.* (1989), ZHENG & BAILEY (1989), NELSON & GUGGENHEIM (1993), risulta che, nella maggior parte delle cloriti triottaedriche (vedasi nel capoverso seguente la relativa definizione), l' Al^{3+} , il Cr^{3+} , il Fe^{3+} occupano in prevalenza l'interstrato. Inoltre tali studi hanno dimostrato che generalmente la distribuzione dei cationi ottaedrici bi- e trivalenti nei diversi siti dell'interstrato è ordinata, mentre la distribuzione dei cationi tetraedrici e ottaedrici nei rispettivi siti del pacchetto 2:1 è disordinata.

La nomenclatura corrente delle cloriti, così come degli altri fillosilicati, si basa sulle modalità di occupanza dei siti ottaedrici nello strato ottaedrico del pacchetto 2:1 e dell'interstrato. L'unità strutturale più piccola contiene tre siti ottaedrici. Se tutti e tre sono occupati lo strato è chiamato triottaedrico; se invece sono occupati solo due dei tre siti, lo strato è chiamato diottaedrico. Si distinguono così cloriti tri-tri, tri-di, di-tri, di-diottaedriche. Una descrizione più dettagliata di tale nomenclatura viene fornita nel paragrafo 3.3.

La cella monoclinica che risulta dalla giustapposizione delle maglie pseudoesagonali costituenti l'impalcatura della clorite e dallo spostamento di $a_0/3$ in direzione di x degli strati tetraedrici del pacchetto 2:1 ha come parametri: $a_0=5.3\text{\AA}$, $b_0=9.2\text{\AA}$, $c_0=14.3\text{\AA}$, $\beta=97^\circ$. La distanza interplanare $d_{001}=(c \sin\beta)$ di circa $14\text{\AA}$ corrisponde allo spessore di un pacchetto 2:2 (2:1 più l'interstrato) di clorite.

Un altro tipo di cella unitaria è rombica a tre strati, con $a_0=5.3\text{\AA}$, $b_0=9.2\text{\AA}$, $c_0=3\times 14.3\text{\AA}$, $\beta=90^\circ$.

3.2 POLITIPISMO

3.2.1 Nomenclatura secondo Bailey & Brown (1962)

La struttura della clorite come descritta nel paragrafo 3.1 fu determinata da PAULING (1930) e dagli altri autori sopra citati. BAILEY & BROWN (1962) dimostrarono che questi risultati si riferivano tutti allo stesso tipo strutturale di clorite, mentre esistono in natura altre disposizioni strutturali che differiscono tra loro per posizione e orientazione dell'interstrato rispetto al pacchetto 2:1 adiacente. La reciproca disposizione dell'interstrato e del pacchetto 2:1 è responsabile della maggior parte della variabilità nella struttura della clorite.

L'interstrato viene chiamato I o II a seconda dell'orientazione dell'interstrato. L'interstrato di tipo I è caratterizzato (FIG. 3.2a) dall'inclinazione dell'ottaedro di coordinazione nella stessa direzione verso cui è inclinato l'ottaedro all'interno del pacchetto 2:1 sottostante; invece la direzione è opposta nell'interstrato di tipo II (FIG. 3.2b) (questo discorso non vale per le cloriti aventi struttura multistrato).

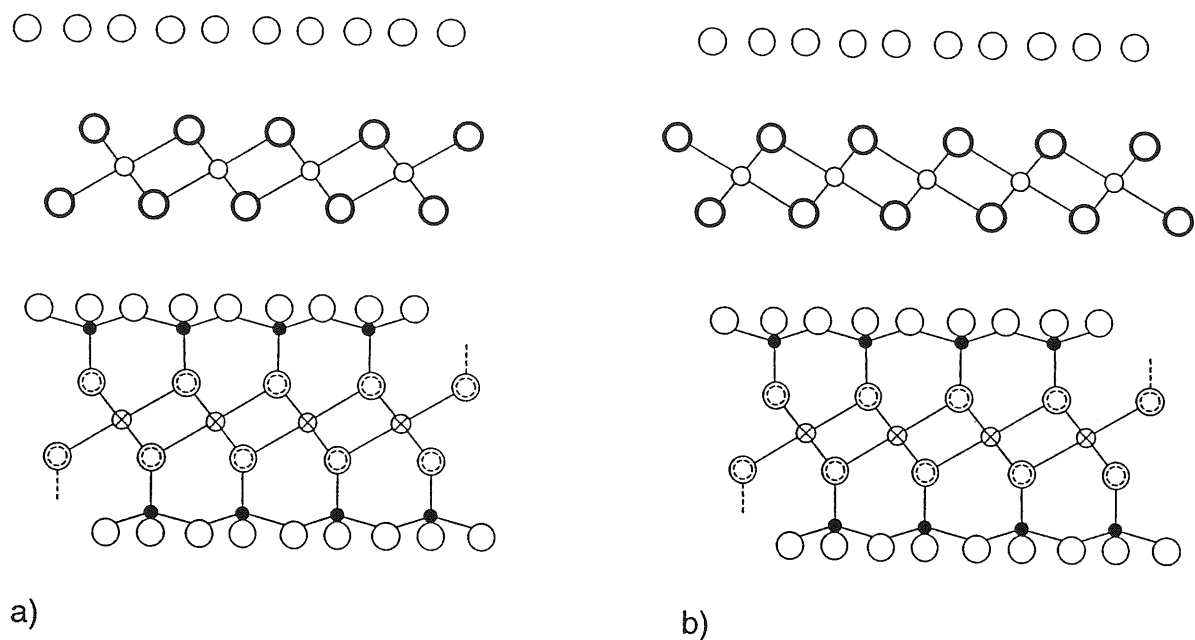
Un dato interstrato, di tipo I o II, può essere posto in sei modi diversi rispetto al primo pacchetto 2:1. Questi sei modi si possono dividere in due gruppi, chiamati *a* e *b*. Ognuno di questi due gruppi comprende tre posizioni equivalenti per la simmetria trigonale dell'interstrato nel quale tutti gli atomi si ripetono ad intervalli di $b_0/3$ (FIG. 3.3).

Nelle posizioni *a* uno dei tre cationi interstrato è proiettato al centro dell'anello esagonale costituito dagli ossigeni apicali del piano anionico più vicino all'interstrato e gli altri due si proiettano sui cationi tetraedrici (FIG. 3.3a,c). Nelle tre posizioni *b* l'interstrato è slittato di $a/3$ in maniera che i tre cationi interstrato formano delle triadi disposte in modo simmetrico e si proiettano al centro dell'anello sottostante (FIG. 3.3b,d). Abbiamo così 4 disposizioni strutturali: Ia, Ib, IIa, IIb.

I politipi (che possono essere considerati come caso particolare di polimorfi dove la struttura varia solo per le diverse modalità di impilamento degli strati) dipendono dal modo in cui:

- 1) i due strati tetraedrici si orientano all'interno del pacchetto 2:1;
- 2) l'interstrato si sovrappone al sottostante pacchetto 2:1;
- 3) il secondo pacchetto 2:1 si sovrappone all'interstrato.

1) Nel pacchetto 2:1 lo strato tetraedrico superiore può orientarsi in 6 modi diversi rispetto allo strato tetraedrico inferiore, mediante uno slittamento di $a/3$ lungo $-X_1, -X_2, -X_3$ (in questo caso i siti ottaedrici occupati vengono chiamati I) oppure $+X_1, +X_2, +X_3$ (in questo caso i siti ottaedrici occupati vengono chiamati II). Questi 6 modi



- | | |
|--|--|
| ○ ossigeno | ● catione tetraedrico |
| ○ ossidrile | ○ catione ottaedrico dell'interstrato |
| ⊗ ossigeno + ossidrile (in proiezione) | ⊗ catione ottaedrico del pacchetto 2:1 |

FIG. 3.2a,b. Diverse inclinazioni dell'ottaedro di coordinazione nell'interstrato rispetto all'ottaedro di coordinazione nel pacchetto 2:1 (ispirata da BAILEY, 1988). (a) Nell'interstrato di tipo I; (b) nell'interstrato di tipo II.

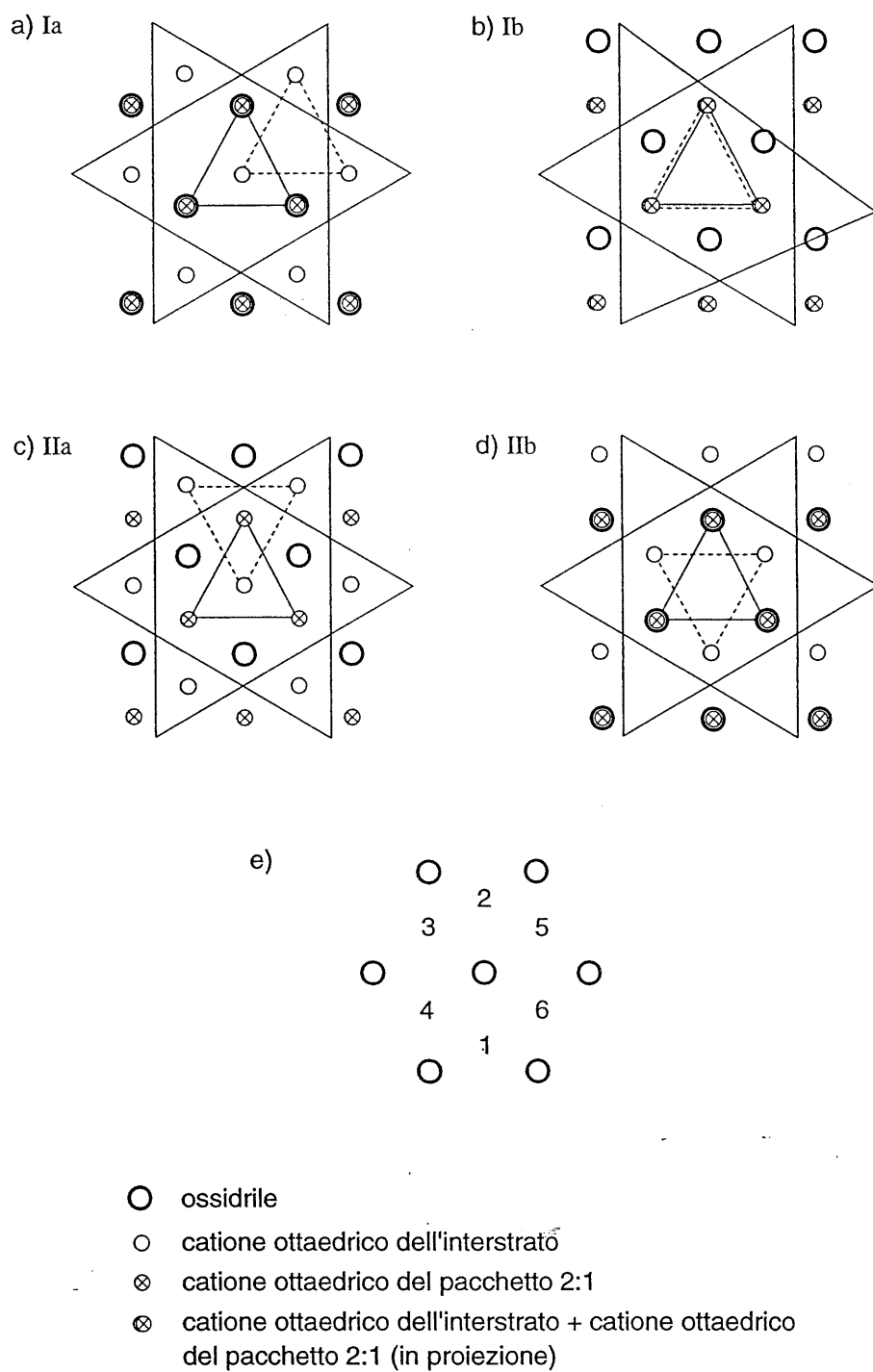


FIG. 3.3. (a,c) Posizioni *a* dell'interstrato rispetto al pacchetto 2:1 sottostante; (b,d) posizioni *b* dell'interstrato rispetto al pacchetto 2:1 sottostante; (e) Diverse posizioni del secondo pacchetto 2:1 sopra l'interstrato: l'OH centrale della figura giace nel centro di simmetria del primo pacchetto 2:1 sottostante (Modificata da SHIROZU & BAILEY, 1965).

rappresentano 6 diverse direzioni di inclinazione dell' ottaedro di coordinazione;

2) Le posizioni ed orientazioni dell'interstrato rispetto al pacchetto 2:1 sottostante, già viste nel paragrafo precedente, sono Ia, Ib, IIa, IIb;

3) Come ci sono sei modi per sovrapporre l'interstrato sul primo pacchetto 2:1, altrettanti ce ne sono per disporre il secondo pacchetto 2:1 sopra l' interstrato. Anche in questo caso si possono individuare due gruppi di posizioni, che vengono contrassegnati da numeri pari o dispari (FIG. 3.3e). Questi numeri indicano le sei possibili posizioni che il centro dell' anello esagonale, posto alla base del secondo pacchetto 2:1, può assumere rispetto ai vicini ossidrili dell' interstrato sottostante. L'OH centrale della FIG. 3.3e giace nel centro di simmetria del primo pacchetto 2:1 sottostante.

La maggior parte delle cloriti ha struttura ad 1-pacchetto con impilamento regolare, oppure struttura con impilamento semidisordinato ("semi-random") (una descrizione più dettagliata è riportata più avanti in questo capitolo). In entrambi i casi le unità a 14Å lungo Z sono identiche e le variazioni all'interno del pacchetto 2:1 possono essere trascurate. Meno abbondanti risultano invece le cloriti a 2-pacchetti e le cloriti multipacchetto con impilamento regolare, dove la periodicità lungo Z è data da, rispettivamente, da 2 o più di 2 unità a 14 Å. Qui di seguito vengono brevemente descritte le principali caratteristiche di questi politipi nel seguente ordine:

- i) 1-pacchetto con impilamento regolare;
- ii) 2-pacchetti con impilamento regolare;
- iii) multipacchetto con impilamento regolare;
- iv) impilamento "semi-random".

i) BAILEY & BROWN (1962) hanno dimostrato che in teoria ci possono essere dodici diversi politipi di clorite con struttura ad 1-pacchetto con impilamento regolare, se si considerano:

- 1) l'orientazione I o II dell' interstrato;
- 2) le posizioni a o b dell'interstrato sul pacchetto 2:1 iniziale;
- 3) le sei posizioni del successivo pacchetto 2:1 sopra il piano interstrato.

Queste combinazioni darebbero luogo teoricamente a 24 politipi regolari, da Ia-1 a Ia-6, da Ib-1 a Ib-6 e così` via. In natura però esistono solo 12 politipi veramente diversi tra loro. I rimanenti sono o enantiomorfi (cioè legati tra loro da una operazione di simmetria di inversione e/o riflessione e/o rotoinversione) o equivalenti in seguito a rotazioni di 180° attorno all'asse Y. Di questi 12 politipi:

- due hanno simmetria triclinica con cella triclinica avente $\alpha=102^\circ$ e $\beta=\gamma=90^\circ$;
- due hanno simmetria monoclinica con cella ortorombica avente $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$;

- i restanti 8 politipi hanno cella monoclina con $\beta=97^\circ$ e comprendono, per ciascun tipo di unità strutturale *Ia*, *Ib*, *IIa*, *IIb*, sia una simmetria monoclina che una triclina.

La designazione dei politipi appena vista considera i pacchetti 2:1 disposti ai due lati dell' interstrato in modo simmetrico, cioè entrambi in posizione *a* oppure entrambi in posizione *b*. In realtà per quattro dei dodici politipi si possono avere delle strutture miste, con posizioni *a* da una parte e *b* dall' altra. Per queste strutture asimmetriche si usano i simboli misti *Iba* o *IIab*, che sono una modifica della terminologia originale di BAILEY & BROWN (1962).

Solo se l' interstrato è orientato secondo *a* rispetto ai pacchetti 2:1 sopra e sotto, e solo se questi stessi pacchetti 2:1 si trovano in determinate posizioni (*Ia*-2, *IIa*-1), allora la configurazione della clorite può ricordare quella della mica con gli anelli esagonali che si sovrappongono. Nelle altre cloriti ad un pacchetto, gli anelli esagonali tra strati adiacenti sono invece slittati di: $\pm b_1/3$; $a_3/3 (=a_1/3+b_1/3)$; $-a_2/3 (=a_1/3+b_1/3)$.

ii) Nelle strutture regolari a 2-pacchetti, dalla combinazione dei:

- 1) 6 modi di costruire il pacchetto 2:1,
- 2) 4 modi di sovrapporre l'interstrato (*Ia*, *Ib*, *IIa*, *IIb*),
- 3) 6 modi di sovrapporre il secondo pacchetto 2:1,

si ottengono $n = 6 \times 4 \times 6 = 144$ combinazioni possibili, dalle quali risultano $(n^2-n)/2 = 10296$ strutture a 2-pacchetti di clorite. LISTER & BAILEY (1967) dimostrarono come, per rotazione di $\pm 60^\circ$ e $\pm 180^\circ$ attorno alla normale a (001), o 180° attorno all'asse *y*, il numero di queste strutture poteva essere ridotto a 1134. DRITS & KARAVAN (1969) ne trovarono solo 148.

iii) Le strutture multipacchetto si possono ricavare con analoghi ragionamenti.

iv) Nei politipi ad impilamento "semi-random" l'interstrato ed il pacchetto 2:1 soprastante possono adottare, a caso, una delle tre posizioni, rispettivamente *a* o *b* per il primo e pari o dispari per il secondo, cioè possono adottare, con successione casuale, posizioni che si differenziano per slittamenti di $\pm 1/3b_0$. Ad esempio, i pacchetti 2:1 successivi al primo possono impilarsi adottando, con sequenza casuale, una delle tre posizioni 2, 4, 6 oppure 1, 3, 5, ma non possono mescolare posizioni pari con posizioni dispari. Per ciascuno dei quattro tipi strutturali della clorite (*Ia*, *Ib*, *IIa*, *IIb*) si possono avere due sequenze di impilamento "semi-random". Si ottengono così otto strutture di cui solo sei sono realmente diverse tra loro, come si può vedere in FIG. 3.4a,b.

Il tipo strutturale *IIb* è di gran lunga il più abbondante nel metamorfismo regionale e nei giacimenti minerari di alta temperatura (BAILEY & BROWN, 1962), ed è il solo che è stato possibile produrre sinteticamente. Gli altri tipi strutturali sembrano meglio adatti a

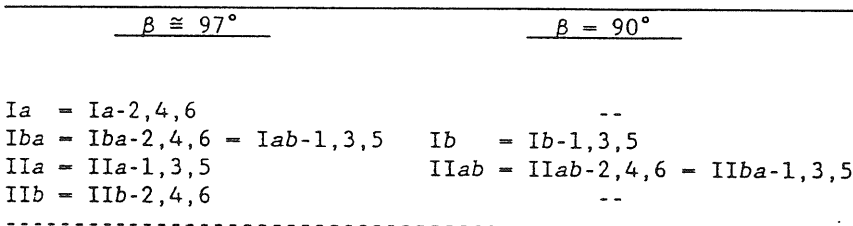
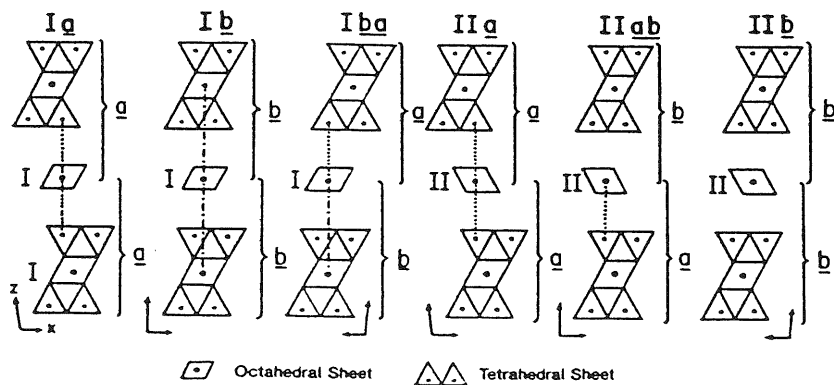


FIG. 3.4a,b. I sei politipi ad ordinamento semidisordinato ("semi-random"). (a) Rappresentazione schematica [010]; (b) strutture (tratta da BAILEY, 1988).

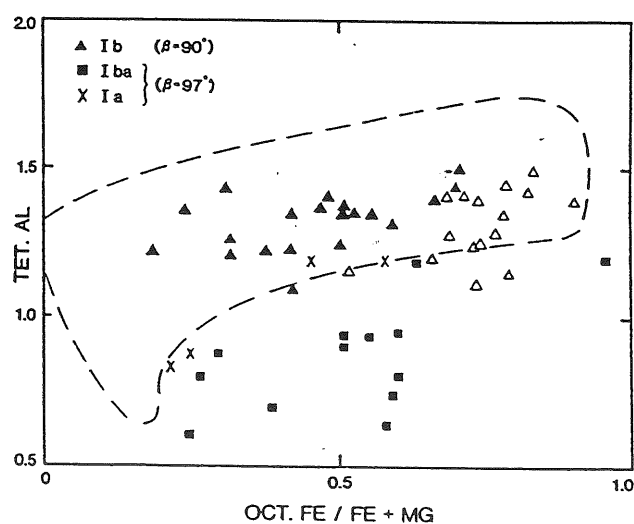


FIG. 3.5. Correlazione tra composizione chimica e politipismo. La linea tratteggiata racchiude il campo compositivo delle cloriti IIb. I triangoli vuoti rappresentano dati di SHIROZOU (1960) per una clorite ortoesagonale Ib (tratta da BAILEY, 1988).

condizioni di temperature più basse. Il tipo strutturale IIa non è mai stato rinvenuto. Le stabilità relative dei vari politipi sembrano condizionate dalle interazioni tra i pacchetti 2:1 e l'interstrato, in particolare modo dall'entità della repulsione tra cationi dell'interstrato e cationi tetraedrici e dalla lunghezza del legame H tra gli OH dell'interstrato e gli ossigeni degli strati tetraedrici. Questa lunghezza dipende principalmente dalla direzione ed entità della distorsione della maglia esagonale del pacchetto 2:1. L'abbondanza delle cloriti IIb quindi sarebbe l'effetto della combinazione tra la minima repulsione tra cationi e la minima lunghezza del legame H (BAILEY & BROWN, 1962).

Tenendo in considerazione le forze interatomiche e le distanze alle quali esse operano, sembra che il grado di stabilità diminuisca secondo questo ordine: IIb > Ib(90=β) > Iba(97=β) > Ia > IIab(90=β) > IIa(97=β) (BAILEY, 1988).

Fattori determinanti nella struttura ed abbondanza di un politipo (BAILEY & BROWN, 1962) sono: l'esistenza di condizioni di equilibrio (in quanto dipendenti dall'energia disponibile nell'ambiente e dal tempo) e la composizione chimica (in quanto influente sulla carica cationica e l'entità della distorsione della rete esagonale).

BAILEY & BROWN (1962) hanno cercato una correlazione tra composizione chimica e politipismo (FIG. 3.5) I loro risultati, ottenuti utilizzando dati chimici, in parte nuovi e in parte di SHIROZU (1958, 1960) determinati, indirettamente dai valori dei parametri di cella, dimostrerebbero una certa influenza della sostituzione tetraedrica di Si da parte di Al sulla stabilità dei diversi politipi. In effetti, questo tipo di sostituzione avrebbe delle conseguenze sia a livello di carica che di dimensioni laterali nello strato tetraedrico.

A tutt'oggi, comunque, mancano studi conclusivi che mettano in relazione politipismo e composizione chimica.

3.2.2 Nomenclatura secondo la Teoria OD

La Teoria OD (Ordine-Disordine che coinvolge l'intero assetto strutturale della clorite) presentata da DORNBERGER-SCHIFF (1964), si basa sull'osservazione generale che le configurazioni atomiche energeticamente più favorevoli si ripetono più volte nella struttura di un cristallo. Questa teoria ha permesso di definire dal punto di vista geometrico, mediante algoritmi che ne permettono la loro sistematica derivazione, i politipi che hanno maggiore probabilità di formarsi, chiamandoli MDO (Maximum Degree of Order). I politipi MDO (detti anche semplici, standard, regolari) sono i più frequenti in natura, specie se il processo di cristallizzazione è stato lento.

La derivazione sistematica dei politipi MDO, e quindi il calcolo del numero possibile

di posizioni nell'impilamento dei pacchetti 2:1, richiede la conoscenza della simmetria dello strato ottaedrico. Infatti, la nomenclatura corrente dei fillosilicati basata sull'occupanza dei siti ottaedrici (tri- o diottaedrici) tiene conto del numero di siti occupati rispetto al numero disponibile, e non del tipo di atomi che occupano tali posizioni (quindi della presenza o meno di simmetria nello strato ottaedrico). Pertanto, la nomenclatura utilizzata nello studio dei politipi MDO, come sintetizzato da DUROVIC (1994), prevede i seguenti prefissi:

- omo: quando tutti e tre i siti ottaedrici vengono occupati dalla stessa entità cristallografica (ione o vacanza);
- meso: quando due siti ottaedrici vengono occupati dalla stessa entità cristallografica ed un sito da una entità diversa;
- etero: quando i tre siti ottaedrici vengono occupati da tre entità diverse.

Nel caso della clorite bisognerà evidentemente specificare la natura di entrambi gli strati ottaedrici. Si noti, comunque, che le cloriti omo-omoottaedriche non possono essere altro che tri-triottaedriche.

Ciascun politipo MDO è caratterizzato da una specifica proiezione XZ detta anche "superposition structure", e da una specifica proiezione YZ (WEISS & DUROVIC, 1983).

Dalle proiezioni XZ della struttura dei politipi MDO si riconoscono quattro *sottofamiglie* A, B, C, D (che corrispondono rispettivamente alle disposizioni strutturali IIa, Ia, IIb, Ib, secondo la terminologia di BAILEY & BROWN, 1962) ciascuna determinata da distribuzioni caratteristiche e costanti delle intensità dei riflessi hkl con $h \neq 3n$ e $k = 3n$.

Dalle proiezioni YZ della struttura dei politipi MDO si riconoscono diversi *gruppi* MDO, ciascuno determinato da distribuzioni caratteristiche e costanti delle intensità nelle diffrazioni $0kl$ con $k \neq 3n$. Caratteristica degli spettri di diffrazione dei gruppi MDO è la forma ben definita e senza "streaking" dei singoli massimi.

Prendendo in considerazione solo le cloriti omo-omoottaedriche (corrispondenti alle tri-triottaedriche secondo la definizione dell'AIPEA) si possono identificare, all'interno di ciascuna *sottofamiglia* (A, B, C, D) otto *gruppi* MDO (contrassegnati da numeri romani), contraddistinti pertanto da diffrazioni nette (DUROVIC, 1994). La TABELLA 3.1 fornisce uno schema classificativo per i politipi MDO omo-omoottaedrici della clorite (modificata da WEISS & DUROVIC, 1983). Ogni politipo viene identificato da un insieme di numeri e lettere che rappresentano:

- 1, 2 o 3: la periodicità ad uno, due o tre pacchetti;
- A, M, T: la simmetria triclina, monoclinica o trigonale;
- A, B, C, D al pedice: la *sottofamiglia*;

I÷VIII: il gruppo MDO.

Gruppo MDO omo- omoottaedrico	S o t t o f a m i g l i a			
	A	B	C	D
I	1A _A -I	1A _B -I	1A _C -I	-
II	1M _A -II	1M _B -II	1M _C -II	1M _D -II
III	-	-	-	1A _D -III
IV	2M _A -IV	2M _B -IV	2M _C -IV	2M _D -IV
V	2M _A -V	2M _B -V	2M _C -V	2M _D -V
VI	3T _A -VI	3T _B -VI	-	-
VII	-	-	3T _C -VII	-
VIII	-	-	-	3T _D -VIII

TAB. 3.1. Tabella classificativa dei politipi MDO omo-omoottaedrici delle cloriti (modificata da WEISS & DUROVIC, 1983). Il prefisso omo- (interstrato omoottaedrico) nei simboli è omissivo.

3.2.3 Identificazione mediante RX dei politipi della clorite

Si rimanda a BAILEY (1988) per quanto riguarda il riconoscimento dei politipi secondo la nomenclatura di BAILEY & BROWN (1962).

Per quanto riguarda la Teoria OD, WEISS & DUROVIC (1983) hanno calcolato gli spettri di diffrazione (posizione ed intensità dei massimi) per i politipi MDO di due cloriti di diversa composizione: una Mg-clorite (clinocloro) ed una Fe-clorite (chamosite). Ciò va tenuto presente nell'utilizzazione dei dati di diffrazione, in quanto la variabilità compositiva della clorite dovuta alle sostituzioni isomorfe modifica le intensità delle diffrazioni a causa del diverso potere diffusivo (scattering power) degli atomi. Ai fini del calcolo citato, le occupanze ottaedriche all'interno del pacchetto 2:1 e dell'interstrato sono state considerate identiche ed i parametri di cella delle due cloriti considerate sono stati stimati secondo BAILEY (1972) tenendo in considerazione anche la geometria del reticolo del politipo.

Utilizzando i calcoli di WEISS & DUROVIC (1983) il riconoscimento delle *sottofamiglie* A, B, C, D avviene pertanto osservando la distribuzione caratteristica delle

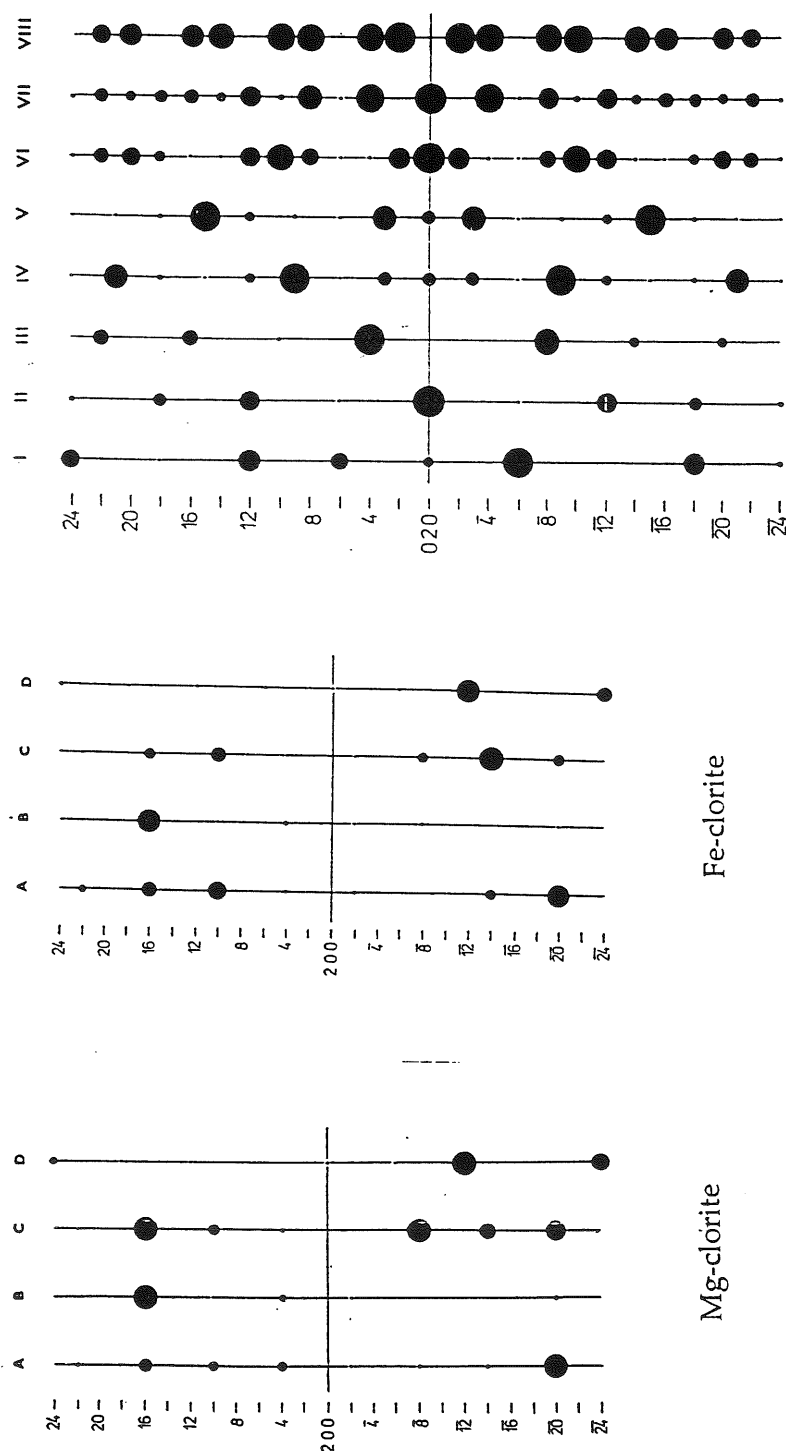


FIG. 3.6 (a) Rappresentazione visiva delle intensità calcolate delle diffrazioni caratteristiche $20l$ dei politipi MDO di cloriti omo-omoottaedriche e loro classificazione in sottofamiglie A, B, C, D, per una Mg-clorite ed una Fe-clorite (clinocloro e chamosite) (modificata da WEISS & DUROVIC, 1983); (b) rappresentazione visiva delle intensità calcolate delle diffrazioni caratteristiche $02l$ dei politipi MDO di cloriti omo-omoottaedriche e loro classificazione in otto gruppi MDO (I - VIII) (modificata da WEISS & DUROVIC, 1983).

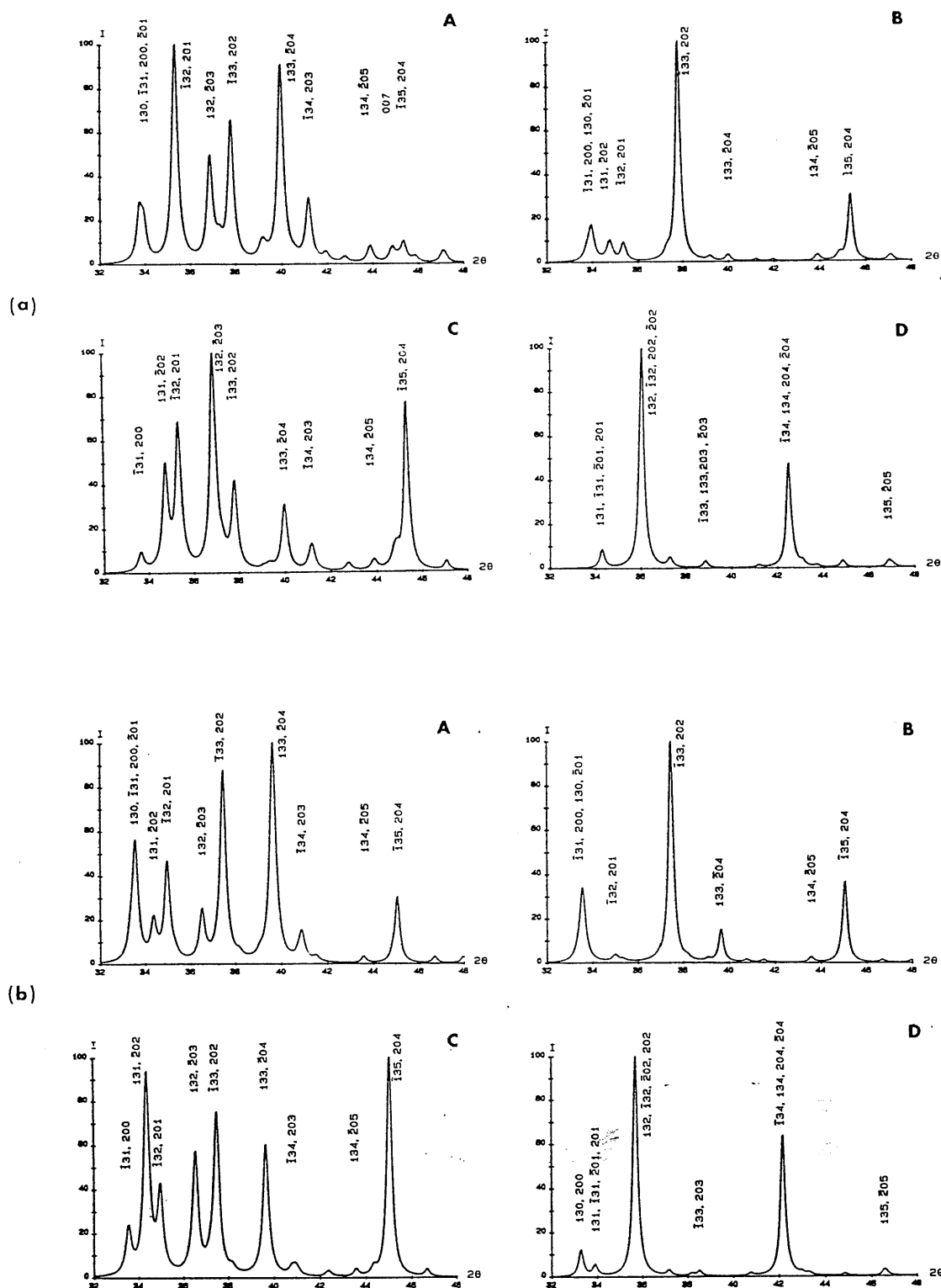


FIG. 3.7a,b. Diffratogrammi calcolati delle polveri dei politipi MDO di un clinoclino (a) e di una chamosite (b) utili a identificare le sottofamiglie A, B, C, D. Gli indici dei picchi si riferiscono alla cella relativa al politipo 1M (cioè politipo regolare ad 1-pacchetto con simmetria monoclinica). Nel calcolo è stata assunta una simmetria ideale della struttura della clorite. Condizioni: radiazione $\text{CuK}\alpha$, orientazione casuale delle lamelle, intensità normalizzata rispetto alla diffrazione più intensa nell'intervallo angolare considerato (tratta da WEISS, 1991).

intensità delle diffrazioni $20l$, $-20l$ o $13l$, $-13l$. Una rappresentazione visiva delle intensità calcolate relative alle 4 *sottofamiglie* sia per una Mg-clorite che per una Fe-clorite viene data in FIG. 3.6a.

Data l'intensità relativamente forte e la caratteristica distribuzione di tali effetti di diffrazione, ciascuna sottofamiglia può essere identificata grazie ad un semplice confronto visivo tra intensità osservate ed intensità calcolate. La distribuzione delle intensità è chiaramente influenzata dal tipo di sottofamiglia mentre le differenze in composizione chimica mostrano generalmente una minore incidenza. Secondo gli autori sopra citati, le intensità delle diffrazioni $20l$, $00l$, $06l$ per l dispari sono indipendenti dal rapporto Fe/Mg nelle posizioni ottaedriche, mentre le intensità delle diffrazioni $20l$, $00l$, $06l$ per l pari mostrano dipendenza dal rapporto Fe/Mg.

Per quanto invece riguarda il riconoscimento dei politipi appartenenti ad un determinato gruppo MDO, esso è possibile in base alle distribuzioni delle intensità delle diffrazioni $02l$ e/o $04l$ ($K \neq 3n$). La rappresentazione visiva delle intensità calcolate delle diffrazioni caratteristiche $02l$ dei politipi MDO omo-omoottaedrici e la loro classificazione in otto gruppi MDO (I-VIII) viene presentata in FIG. 3.6b.

Le intensità delle diffrazioni $02l$, $04l$ per ogni l , sono indipendenti dal rapporto Fe/Mg nelle posizioni ottaedriche.

In conclusione, possiamo dire che un politipo MDO può essere identificato mediante diffrattometria ai RX su cristallo singolo se conosciamo la distribuzione delle intensità delle sue diffrazioni $20l$ ($13l$) e $02l$.

Una parziale identificazione dei politipi MDO delle cloriti può avvenire anche grazie alla lettura dei diffrattogrammi delle polveri (WEISS & DUROVIC, 1983). Nell'intervallo compreso tra 32 e 48° di 2θ i picchi di diffrazione sono generalmente dati dal contributo di più piani aventi $d_{20l/13l}$ molto vicine. La successione di tali picchi con diverse intensità è caratteristica per ciascuna sottofamiglia A, B, C, D. In FIG. 3.6 a,b vengono riportati i diffrattogrammi delle polveri calcolati secondo WEISS (1991) per una chamosite magnesifera ed un clinocloro. Anche con tale metodo pertanto la *sottofamiglia* risulta facilmente identificabile per confronto visivo.

E' comunque da evidenziare che le diffrazioni $02l$ e $04l$ sono generalmente deboli, e possono presentarsi sotto forma di strie in presenza di impilamenti random. Per questo motivo la distinzione tra i vari gruppi MDO non può essere fatta con il metodo delle polveri ma solo con studi di diffrazione RX su cristallo singolo.

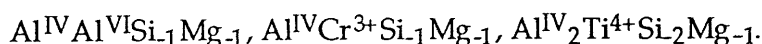
3.3 CHIMISMO DELLE CLORITI.

3.3.1 Sostituzioni ed ampiezza delle soluzioni solide.

Nelle cloriti naturali sono sempre presenti delle sostituzioni che possono interessare sia le posizioni tetraedriche che quelle ottaedriche. Nel rappresentarle useremo qui la simbologia proposta da THOMPSON (1981, 1982), mediante "vettori" o "componenti di scambio", la cui formula utilizza pedici negativi per indicare gli atomi che escono e pedici positivi per indicare gli atomi che entrano.

Nelle cloriti, le principali sostituzioni sono le seguenti:

a) *sostituzione Tschermakitica* (abbreviata con la sigla *TK*), che implica le seguenti sostituzioni:



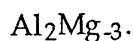
La sostituzione Tschermakitica è rappresentata schematicamente dalla freccia in FIG. 3.8: i punti presenti lungo la freccia sono privi di sostituzione *AM* e rappresentano sostituzione *TK* in misura crescente man mano che ci si allontana dall'origine.

La sostituzione di Si^{4+} con Al^{3+} provoca un eccesso di cariche negative negli strati tetraedrici, che può essere bilanciato dalla sostituzione di cationi bivalenti (R^{2+}) con R^{3+} nello strato ottaedrico del pacchetto 2:1 o dell'interstrato.

Già FOSTER (1962) osservava che raramente il numero di atomi di Al in coordinazione IV e VI sono uguali. Se $\text{Al}^{\text{IV}} > \text{Al}^{\text{VI}}$, ciò può essere interpretato secondo Foster con l'entrata di altri cationi trivalenti in coordinazione ottaedrica (ad es.: Fe^{3+} , Cr^{3+} , V^{3+}) che sostituiscono Al^{VI} in rapporto 1:1.

La sostituzione di Si^{4+} con Al^{3+} di norma è contenuta nell'intervallo compreso tra Si_7Al_1 e Si_4Al_4 . HEY (1954) ha classificato le cloriti considerando il Si compreso tra 2.00 e 4.00 posizioni atomiche per metà cella (cioè su 14 O anidri). FOSTER (1962), con lo studio di oltre 150 analisi chimiche di cloriti metamorfiche ed idrotermali effettuate per via umida, ha definito un intervallo di variazione del Si compreso tra 2.34 e 3.45 quasi coincidente con quello stimato da BAILEY & BROWN (1962) che è tra 2.30 e 3.39.

b) *Sostituzione diottaedrica* (abbreviata con la sigla *AM*), che implica la sostituzione:



Se $\text{Al}^{\text{VI}} > \text{Al}^{\text{IV}}$, ciò significa che Al^{3+} ottaedrico in eccesso rispetto a quello necessario per bilanciare la struttura sostituisce i cationi bivalenti con un rapporto 2:3. Queste cloriti, per la neutralità elettrostatica, hanno siti ottaedrici vacanti.

Nella FIG. 3.8, crescenti gradi di sostituzione *AM* sono riconoscibili dalla crescente distanza dei punti rispetto alla freccia *TK* sia sopra che sotto di essa. Quindi:

- i punti che cadono sulla retta rappresentano cloriti in cui non è presente una

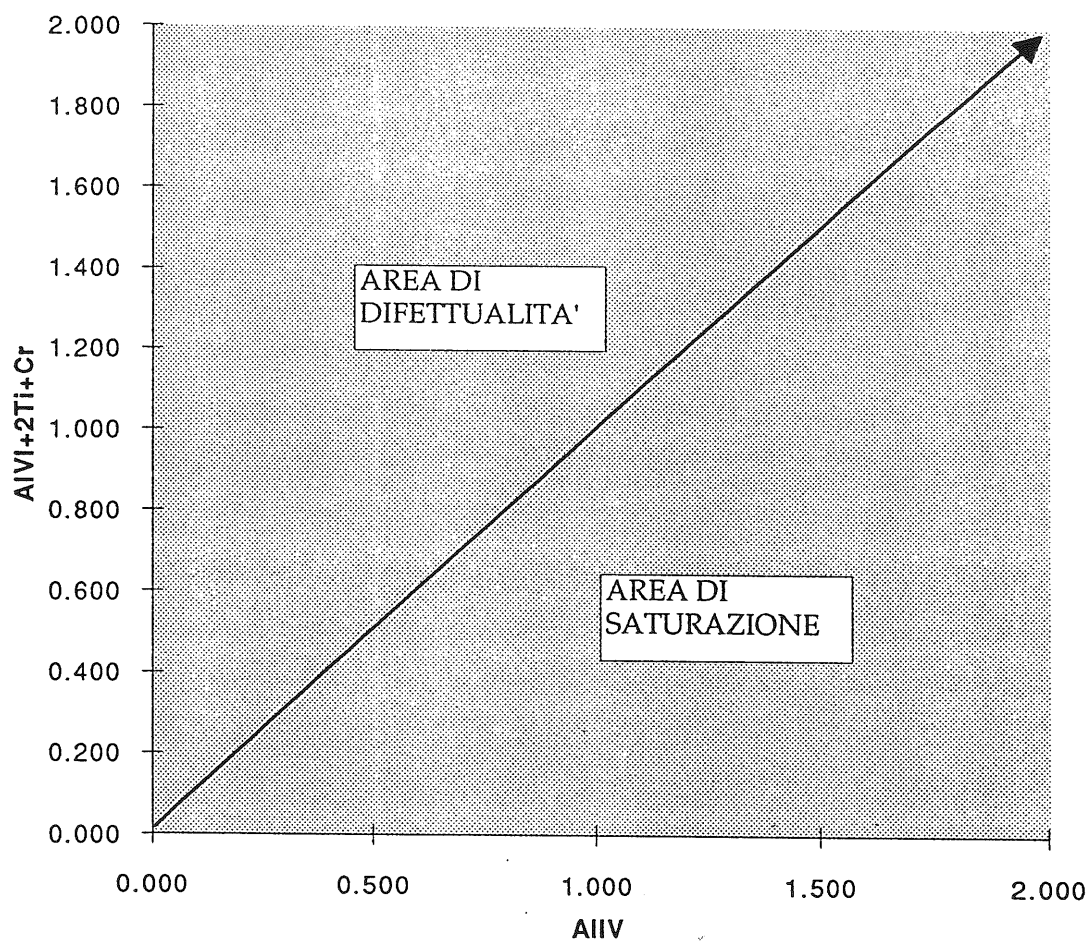


FIG. 3.8. Diagramma rappresentativo di due delle principali sostituzioni che hanno luogo nelle cloriti: TK e AM. Commento nel testo. Parametri chimici in ascissa ed ordinata espressi in a.f.u. per metà cella.

sostituzione diottaedrica $\text{Al}_2\text{Mg}_{-3}$;

- i punti che cadono sopra la retta rappresentano cloriti in cui Al^{VI} ha sostituito R^{2+} , in quantità crescente quanto maggiore è la distanza dalla retta con un rapporto 2:3 (area di difettualità);

- i punti che cadono sotto la retta suggeriscono la presenza di altri R^{3+} diversi dall' Al^{3+} (Cr^{3+} , Fe^{3+} , Ti^{4+}), in quantità crescente quanto maggiore è la distanza dalla retta (area di saturazione);

c) *Sostituzione FeMg_{-1}* (abbreviata con la sigla *FM*). La sostituzione Mg^{2+} con Fe^{2+} non comporta variazioni nella carica dello strato ottaedrico, e può verificarsi in tutte le proporzioni tra i termini estremi puri. ALBEE (1962), BAILEY & BROWN (1962) e FOSTER (1962) considerano la variazione del rapporto $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ compresa tra 0 e 1.

3.3.2 Vacanze strutturali.

Le vacanze strutturali rappresentano difetti dei cristalli che si verificano quando una o più posizioni ottaedriche previste dalla ripetizione periodica ed omogenea nel cristallo risultano non occupate.

Nelle cloriti le vacanze vengono calcolate facendo la differenza tra l'occupanza ottaedrica teorica (6.00 a.f.u. se consideriamo metà cella per confronto con i risultati di FOSTER, 1962) e quella calcolata sommando i valori di R^{2+} , R^{3+} (R^{4+}) in coordinazione ottaedrica.

Nelle cloriti studiate da FOSTER (1962) questa differenza varia tra -0.05 e 0.55 a.f.u. e risulta essere uguale a metà della differenza tra $\text{R}^{3+}(\text{VI})$ e $\text{R}^{3+}(\text{IV})$. Le vacanze, quindi, apporterebbero la carica negativa necessaria per bilanciare la struttura in presenza di $\text{R}^{3+}(\text{VI})$ in eccesso.

Recentemente DYAR *et al.* (1993) hanno affermato che nelle cloriti, così come in altri silicati idrati, il contenuto di H^+ (e quindi OH) è spesso inferiore a quello stechiometrico. L'ammontare del deficit di H^+ in questi minerali spesso è in grado da solo di giustificare le sostituzioni di R^{2+} con R^{3+} tranne, ovviamente, quelle dovute al bilanciamento di $\text{R}^{3+}(\text{IV})$. In questo modo il ruolo delle vacanze viene da questi autori ridimensionato.

3.3.3 Fe^{3+}

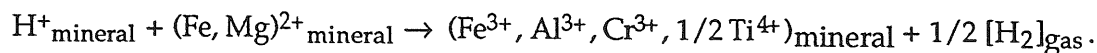
La presenza di Fe_2O_3 nelle cloriti è stata considerata a lungo come il prodotto di una "ossidazione secondaria", secondo la reazione $2 \text{Fe}(\text{OH})_2 = 2 \text{FeO}(\text{OH}) + \text{H}_2$ e che comporta la trasformazione di un OH in O per ciascuno ione Fe^{2+} ossidato in Fe^{3+} (WINCHELL, 1926; HOLZNER, 1938).

FOSTER (1962) però notò che nella maggior parte delle cloriti contenenti Fe^{3+} mancava la prova di una "ossidazione secondaria", non essendoci una correlazione positiva tra Fe_2O_3 e il contenuto di O in eccesso rispetto ai 10 ioni (per metà cella) permessi dalla formula. Notò inoltre che gran parte delle cloriti con $\text{Fe}^{2+}/\text{R}^{2+} < 0.45$ contiene meno del 4% in peso di Fe_2O_3 , mentre generalmente le cloriti con un rapporto $\text{Fe}^{2+}/\text{R}^{2+} > 0.45$ contiene più del 4% di Fe_2O_3 . Le cloriti più ferrifere erano quindi le più ricche in Fe_2O_3 .

Da ciò FOSTER (1962) dedusse che il Fe^{3+} può entrare nella struttura delle cloriti come un normale costituente, o per bilanciare le cariche negative dello strato tetraedrico quando Al^{VI} è minore di Al^{IV} (sostituzione di Al^{3+} con Fe^{3+} in rapporto 1:1), o mediante una sostituzione diottaedrica (sostituzione di R^{2+} con Fe^{3+} in rapporto 3:2).

Inoltre FOSTER (1962) notò che in generale il contenuto in OH decresce all'aumentare del FeO, e che tale comportamento poteva essere interpretato solo in piccola parte in termini di una ossidazione del Fe^{2+} , e molto più verosimilmente in termini di interstratificazione con altri fillosilicati meno idrati.

DYAR *et al.* (1993) hanno posto l'attenzione sull'importanza della misura diretta di Fe^{3+} e H^+ in silicati idrati. Questi autori hanno dimostrato che il contenuto di H^+ è funzione della composizione del minerale e quindi della temperatura e pressione di formazione dell'associazione di cui fa parte. DYAR *et al.* (1993) hanno individuato infatti una correlazione negativa tra la quantità di H^+ e la somma dei $\text{R}^{3+}(\text{VI})$ in eccesso rispetto a quelli necessari per bilanciare Al^{IV} . Secondo questi autori, nelle cloriti così come nelle muscoviti e biotiti sarebbe molto comune la sostituzione:



Questa reazione di deprotonazione (o ossisostituzione) è anche una reazione di deidratazione. Nelle cloriti prese in esame da DYAR *et al.* (1993) la quantità di H_2O risulterebbe sempre inferiore a quella stechiometrica (12%), aggirandosi tra 8.80 e 10.41% in peso. Tuttavia, contrariamente a quanto succede nelle miche, nelle cloriti cristallizzate in diverse condizioni di f_{O_2} il contenuto di Fe^{3+} non supera in genere il 15% del Fe_{tot} (DYAR *et al.*, 1992). In particolare, il ferro ferrico nelle cloriti di metapeliti sature in Al, Ti, Si e coesistenti con grafite ed ilmenite oscilla tra il 6 e il 13% circa del Fe totale. I contenuti di Fe^{3+} nelle cloriti quindi sono influenzati più dalle caratteristiche cristallografiche che dalla f_{O_2} dell'ambiente (DYAR *et al.*, 1992, NELSON & GUGGENHEIM, 1993).

3.3.4 Calcolo della formula.

Il calcolo della formula delle cloriti (così come di altri silicati) a partire dalla percentuali in peso degli ossidi è diventato un problema delicato in seguito all'uso ormai generalizzato della microsonda elettronica come metodologia analitica. La microsonda elettronica, infatti, misura gli elementi indipendentemente dal loro stato di ossidazione (le differenze di energia indotte dallo stato di ossidazione sono infatti trascurabili nel processo di emissione RX), e per convenzione gli atomi di Fe sono trasformati in FeO. Inoltre gli spettrometri di Bragg non sono approntati per l'analisi delle emissioni X degli elementi con $Z \geq 11$.

Se nella struttura della clorite non ci fossero vacanze nè deficit di $(OH)^-$, qualsiasi tipo di calcolo della formula porterebbe agli stessi risultati e quindi alla coincidenza fra formula teorica e formula calcolata. In realtà, dato che vacanze e deficit di $(OH)^-$ sono comuni nelle cloriti naturali (FOSTER, 1962; DYAR *et al.* 1993), ne consegue che il risultato può essere notevolmente influenzato dal tipo di calcolo utilizzato (LAIRD, 1988).

Quattro sono gli schemi generalmente adottati per il calcolo della formula delle cloriti, ciascuno basato su uno dei seguenti vincoli: a) chiusura a 20 cationi, b) chiusura a 28 O anidri, c) chiusura a 36 O(OH), d) imposizione di 56 cariche negative per cella unitaria. I primi due sono i criteri più usati, ed hanno i seguenti pregi e difetti:

- a) normalizzazione in base a 20 cationi (escluso H): permette di stimare il Fe^{2+}/Fe_{tot} dalla stechiometria ma non considera le vacanze;
- b) normalizzazione in base a 28 O anidri: permette il calcolo delle vacanze ottaedriche ma non considera la presenza di Fe^{3+} .

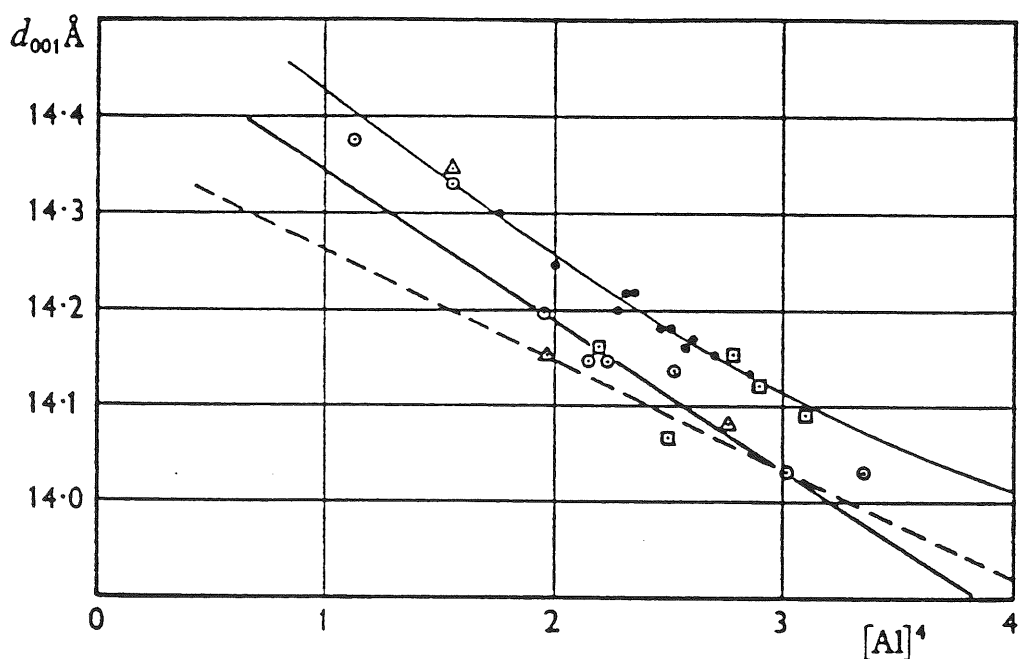
W ALSHE (1986) e JACOBSON (1989) hanno proposto dei metodi indiretti di calcolo del Fe^{3+} da dati di microsonda, qualora la somma totale dei cationi superi quella permessa dalla formula.

3.4 RELAZIONE TRA VARIAZIONE DEL CHIMISMO E VARIAZIONI STRUTTURALI.

3.4.1 Relazione tra chimismo e parametri di cella.

Nelle cloriti gli ampi intervalli di sostituzione influiscono sulle dimensioni della cella e quindi sulle posizioni dei picchi in diffrazione RX.

VON ENGELHARDT (1942), HEY (1954), SHIROZU (1958), BRINDLEY (1961), BAILEY (1972) calcolarono la relazione quantitativa tra il parametro di cella b_0 (definito dalla posizione del riflesso 060) e il contenuto in Fe^{2+} e Mn^{2+} (FIG. 3.9a), secondo una



○ Bannister and Whittard, 1945. • Shirozu, 1958. □ McMurchy, 1934.
 ▲ Brindley and Ali (See Brindley and Robinson, 1951)
 — Shirozu, 1958. - - Hey, 1954. — Brindley and Gillery, 1956.

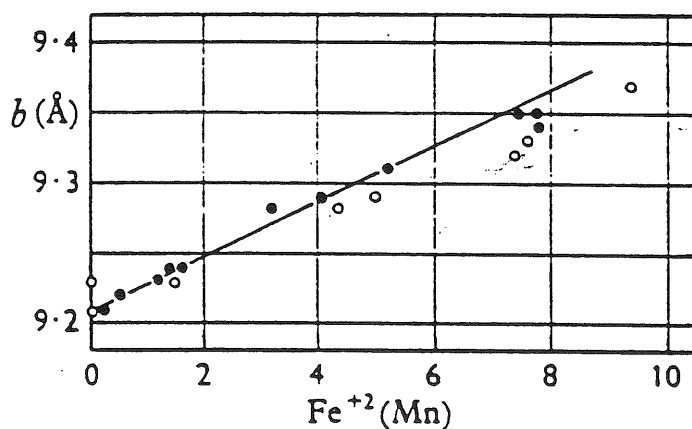


FIG. 3.9. (a) Relazione tra il valore di d_{001} ed il numero di ioni Al^{4+} per unità di formula ($Si^{4+} + Al^{4+} = 8$); (b) relazione tra b_0 ed il contenuto di $(Fe^{2+} + Mn)$ nella clorite ($Fe + Mn = 12$ al massimo). Cerchietto pieno: SHIROZU (1958); cerchietto vuoto: VON ENGELHARDT (1942) (tratte da DEER *et al.* 1962).

relazione lineare del tipo:

$$b_0 = b + k (\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+})$$

dove b e k sono delle costanti e $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+})$ rappresenta il contenuto di ferro bivalente e manganese in a.f.u.

KEPEZHINSKAS (1965) propose invece una relazione più complessa che teneva conto non solo di Fe^{2+} e Mn^{2+} , ma anche di Si^{4+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} (VI).

BAILEY (1972) applicò le equazioni di regressione calcolate da questi autori a 4 cloriti delle quali era stata determinata la struttura, deducendo che le equazioni di VON ENGELHARDT (1942), SHIROZU (1958), KEPEZHINSKAS (1965) davano la migliore approssimazione tra valore misurato e valore calcolato.

Equazioni analoghe sono state calcolate per il rapporto tra d_{001} e contenuto in Al^{IV} da BRINDLEY (1961), ALBEE (1962), KEPEZHINSKAS (1965), senza tuttavia ottenere la stessa accuratezza (FIG. 3.10b).

BAILEY (1972) individuò altri fattori che potevano influire sulla misura di d_{001} oltre che il contenuto di Al^{IV} . Tuttavia, tale autore concluse che le equazioni sopra citate potevano essere utilizzate per stimare il contenuto di Al^{IV} nella maggior parte delle cloriti triottaedriche. Secondo BAILEY (1972) l'errore medio nella stima dei contenuti di Fe^{2+} e di Al^{IV} mediante diffrazione RX rispetto ai contenuti chimici determinati alla microsonda elettronica poteva considerarsi del 10% (0.1 atomi per $\text{O}_{10}(\text{OH})_8$).

Una nuova equazione che lega il valore di d_{001} con i dati compositivi è stata proposta da RAUSELL-COLOM *et al.* (1991) sulla base dei dati chimici e diffrazionometrici di 98 cloriti pubblicate in letteratura (di cui 12 con raffinamento strutturale):

$$d_{001} = 14.359 - 0.0905\text{Al}^{\text{IV}} - 0.035\text{Al}^{\text{VI}} - 0.0201\text{Fe}^{2+} + 0.0938\text{Cr}^{3+} + 0.0283\text{Mn}^{2+} - 0.0519\text{Li}^{+}.$$

Questa equazione risulta essere più accurata rispetto a quelle proposte in precedenza, e può essere applicata a tutti i tipi di cloriti (tri-, di,tri-, di,diottaedriche).

DRITS & SMOLIAR-ZVIAGINA (1992), non considerando affidabile alcuna delle relazioni proposte da BRINDLEY (1961), ALBEE (1962), KAPEZHINSKAS (1965) per la stima del contenuto di Al^{IV} dal valore di d_{001} , hanno proposto una nuova equazione che permette di ricavare il contenuto di Al^{IV} da entrambi i parametri b e d_{001} . Inoltre, sulla base dei dati compositivi e strutturali di 12 cloriti, hanno proposto un'equazione di regressione che permette di stimare il contenuto totale di $\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Cr} + \text{Ni}$. Questa equazione, molto simile a quella di VAN ENGELHARDT (1962), ha la forma:

$$b = 9.912 + 0.030\sum_{\text{tr}}$$

dove $\sum_{\text{tr}}$ corrisponde alla somma di $\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Cr} + \text{Ni}$.

Mi;

b) l'intensità dei riflessi $00l$, $20l$ con l dispari e $13l$ con l pari dipende solo dal grado di asimmetria nella distribuzione del Fe tra le posizioni M e Mi, indipendentemente dalla sua distribuzione tra le singole posizioni ottaedriche M o Mi e dal contenuto di atomi pesanti (Fe, Cr);

c) l'intensità dei riflessi $02l$ dipende solo dalla distribuzione del Fe tra le tre singole posizioni ottaedriche nel pacchetto 2:1 (M1, M2, M3) e dell'interstrato (Mi1, Mi2, Mi3), indipendentemente dal contenuto totale di atomi pesanti (se si tratta di una clorite omo-ototadrica) e dalla distribuzione di questi tra siti M e Mi.

WEISS (1991) ha elaborato quindi dei diagrammi grazie ai quali, dal rapporto delle intensità dei riflessi basali 002, 004 oppure 001, 003, è possibile stimare rispettivamente il contenuto totale in atomi pesanti e la loro distribuzione tra lo strato ottaedrico del pacchetto 2:1 e l'interstrato (FIG. 3.10a,b)

3.5 LA CLASSIFICAZIONE DELLE CLORITI

Varie proposte di classificazione delle cloriti sono state avanzate nel corso degli anni man mano che si rendevano disponibili nuove conoscenze sulla composizione, sulla struttura e sulle proprietà di questi minerali (TSCHERMAK, 1890, 1891; ORCEL, 1926; WINCHELL, 1936). In generale, la difficoltà nell'ideare un sistema classificativo pienamente soddisfacente nasce dalla complessità di questi minerali (già discussa nelle precedenti pagine di questo capitolo), e precisamente dalla complessità della loro struttura e dalle ampie e varie soluzioni solide.

Le classificazioni che risultano più usate in letteratura sono quelle di HEY (1954) e di FOSTER (1962). Le classificazioni più moderne sono quelle proposte dall'AIPEA (BAILEY, 1980) e quella di WIEWIÓRA & WEISS (1990) e WEISS (1991). Vengono qui di seguito descritti i criteri base delle classificazioni sopra citate, puntualizzando fin d'ora che certi nomi in uso possono avere significati diversi in classificazioni diverse. Viene infine proposto un nuovo schema di flusso per la classificazione delle cloriti sulla base di analisi in microsonda elettronica (EMPA).

La classificazione di HEY (1954). Essa è basata su tre parametri: Fe_2O_3 , Fe totale, Si (FIG. 3.11). Una prima suddivisione viene fatta sulla base dei contenuti in Fe_2O_3 :

se $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 4\%$ le cloriti sono chiamate ossidate;

se $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 4\%$ le cloriti sono chiamate ortocloriti.

Le ortocloriti vengono poi suddivise in base ai contenuti chimici per unità di formula indicati in ascissa ed in ordinata di FIG. 3.11. Invece le cloriti ossidate vengono suddivise

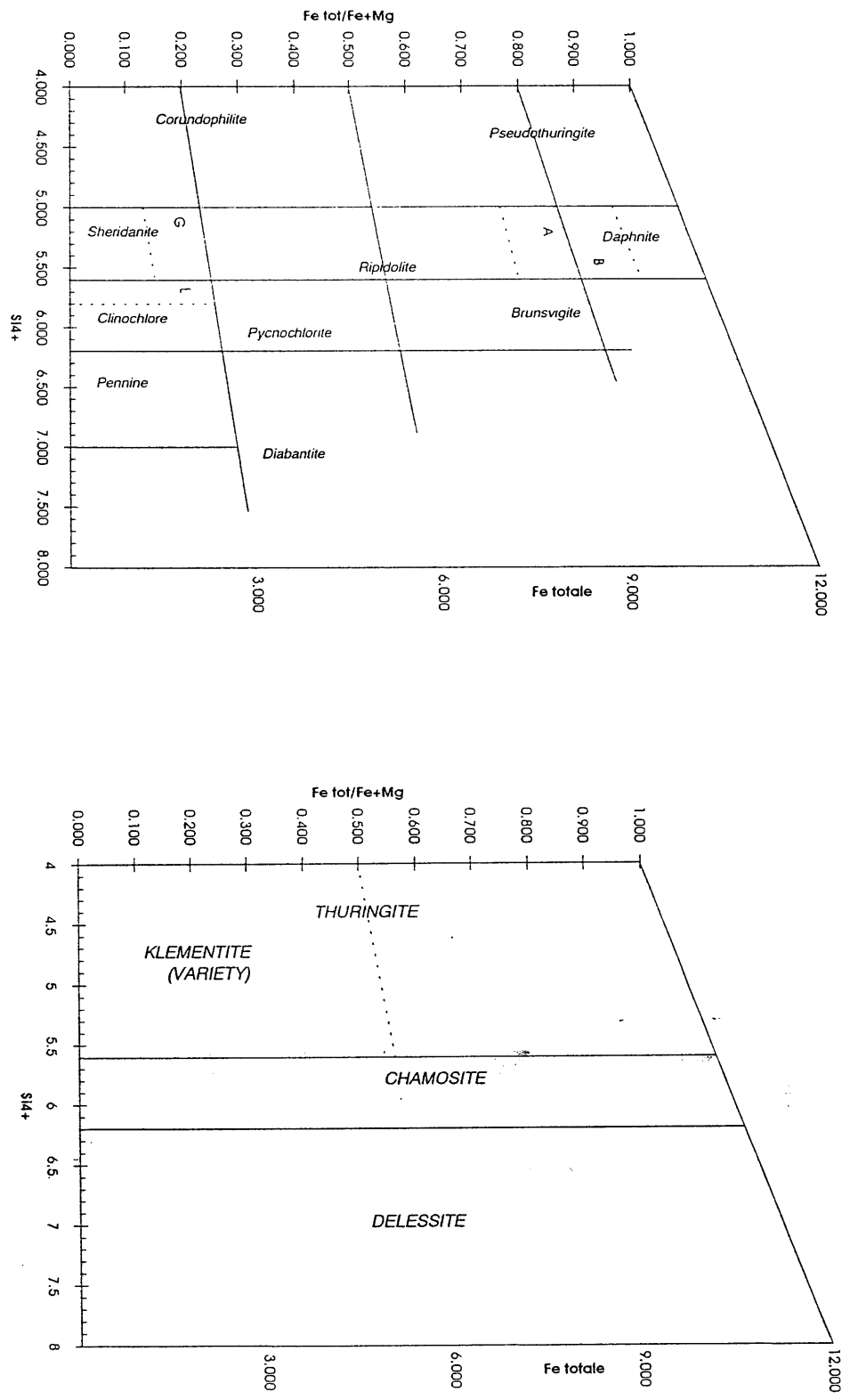


FIG. 3.11. Diagramma classificativo di HEY (1954).

solo in base al numero di Si.

La classificazione di FOSTER (1962). FOSTER (1962) considerò arbitraria la scelta di HEY di dividere le cloriti in ossidate e non in base al valore 4% di Fe_2O_3 . Infatti la maggior parte delle cloriti da lei studiate, contenendo più del 4% di Fe_2O_3 , risultavano indifferenziate perchè venivano a cadere tutte nel grande campo della Thuringite. L'autrice avanzò quindi una ipotesi di classificazione basata sui parametri $\text{Fe}^{2+}/\text{R}^{2+}_{\text{tot}}$ e Si, comprendendo in un unico schema classificativo tutte le cloriti, indipendentemente dal loro contenuto in Fe^{3+} (FIG. 3.12).

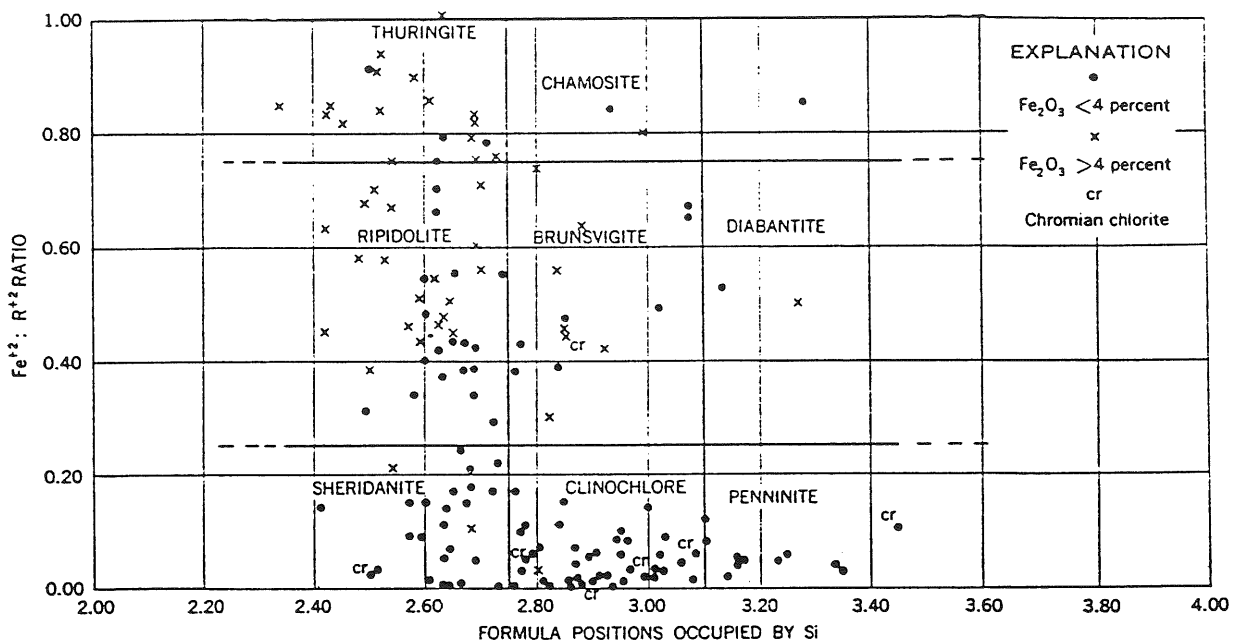


FIG. 3.12. Diagramma classificativo di Foster (1962).

La classificazione AIPEA (BAILEY, 1980). Una classificazione basata non più sui caratteri compositivi bensì su quelli strutturali è stata suggerita dalla Commissione per la nomenclatura dell' AIPEA. Sulla base della popolazione dello strato ottaedrico del pacchetto 2:1 e dell'interstrato, le cloriti sono state suddivise in 3 sottogruppi :

- 1) cloriti triottaedriche
- 2) cloriti diottaedriche
- 3) cloriti di-triottaedriche

Le cloriti triottaedriche, che sono le più comuni, hanno pacchetto 2:1 e interstrato triottaedrici. Le cloriti diottaedriche, rare, hanno pacchetto 2:1 e interstrato diottaedrici. Infine le cloriti di-triottaedriche hanno pacchetto 2:1 diottaedrico e l'interstrato triottaedrico. E'anche nota un'unica clorite con pacchetto 2:1 triottaedrico e interstrato

diottaedrico: è la Franklinfurnaceite, che è una via di mezzo tra una clorite ed una mica fragile.

Nelle cloriti triottaedriche, su suggerimento di BAYLISS (1975), il nome della specie è determinato dal catione ottaedrico bivalente che prevale. I termini clinocloro, chamosite, pennantite, nimite, baileychlore indicano cloriti nelle quali prevalgono rispettivamente il Mg, il Fe, il Mn, il Ni, lo Zn. Nell' assegnare il nome alle specie e varietà di clorite non si tiene conto della popolazione tetraedrica nè dei cationi ottaedrici trivalenti, nè della loro ripartizione tra il pacchetto 2:1 e l'interstrato. Possono essere però utilizzati degli aggettivi per segnalare eventuali altri cationi ottaedrici oltre a quelli dominanti, o cationi particolari in coordinazione tetraedrica.

Le classificazioni di WIEWIÓRA & WEISS (1990) e di WEISS (1991). WIEWIÓRA & WEISS (1990) e WEISS (1991) hanno recentemente proposto un diagramma vettoriale in grado di rappresentare contemporaneamente le cloriti di- e triottaedriche e la posizione degli "end-member" (FIG. 3.13).

Tutte le cloriti vengono suddivise nei seguenti tre sottogruppi:

- 1) tri-triottaedriche: $R_{5.0-6.0} \square_{1.0-0.0}$
- 2) di-triottaedriche (e tri-di): $R_{4.5-5.5} \square_{1.5-0.5}$
- 3) di-diottaedriche: $R_{4.0-5.0} \square_{2.0-1.0}$

dove R= somma dei cationi ottaedrici (per metà cella), $\square$ = vacanze.

Questo tipo di classificazione richiede però delle informazioni strutturali riguardo la distribuzione dei cationi tra i due strati ottaedrici, a meno che le vacanze non siano comprese tra 0.5-0.0 (tri-triottaedriche) o 2.0-1.5 (di-diottaedriche).

WEISS (1991), facendo riferimento al diagramma di FIG. 3.13, propose di dividere le cloriti in 2 grandi gruppi:

Tipo 1: $R^{2+} > R^{3+}$. La composizione di queste cloriti cade nel campo definito in FIG. 3.13 dai punti a, c, d, e;

Tipo 2: $R^{3+} > R^{2+}$. La composizione di queste cloriti cade nel campo definito in FIG. 3.13 dai punti e, d, g, i.

Ciascuno di questi punti potrebbe essere un termine estremo ("end-member") teorico di una serie isomorfa. In realtà, dall'analisi della letteratura, WEISS (1991) colloca in b, f, h gli "end-members" che effettivamente si ritrovano nelle cloriti naturali:

clinocloro (b), sudoite (f), donbassite (h) nel sistema $Mg - Al^{VI} - \square - Al^{IV}$;
 chamosite (b), ferrosudoite (f), ferrodonbassite (h) nel sistema $Fe^{2+} - Al^{VI} - \square - Al^{IV}$;
 ferriclinocloro (b), ferrisudoite (f), ferridonbassite (h) nel sistema $Mg - Fe^{3+} - \square - Al^{IV}$;
 nimite (b) nel sistema $Ni - Al^{VI} - \square - Al^{IV}$;

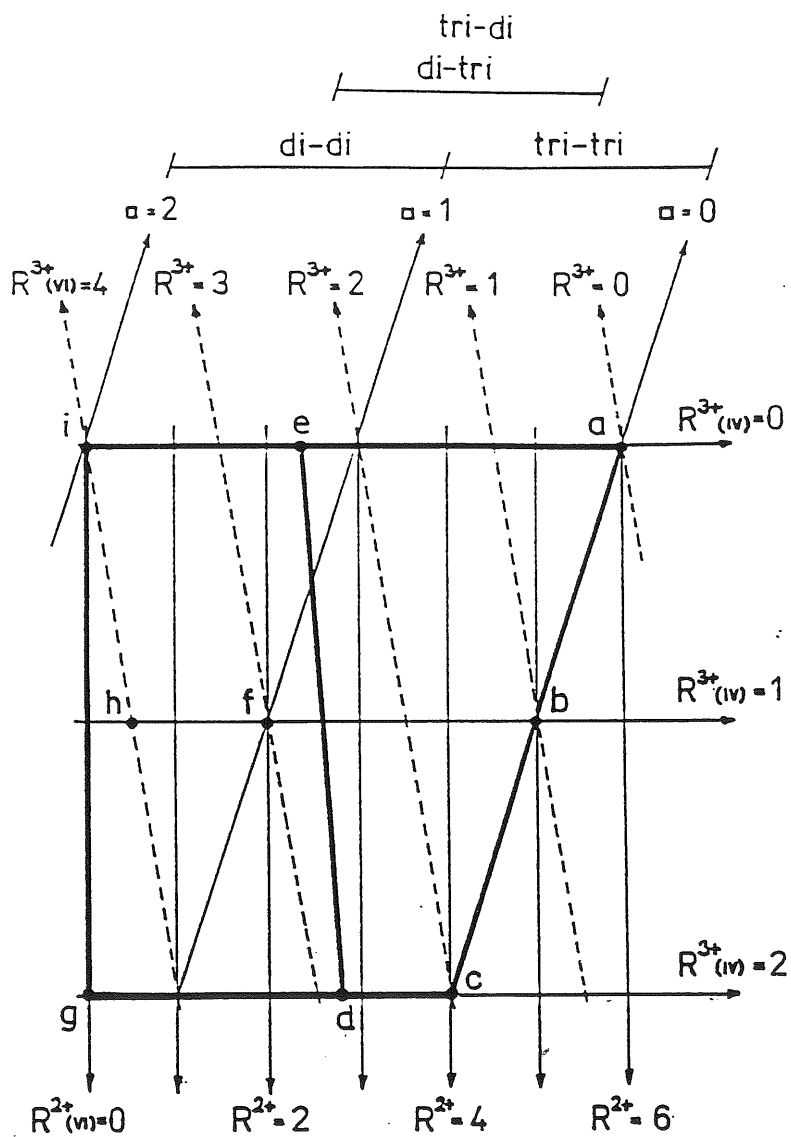


FIG. 3.13. Diagramma vettoriale di WIEWIÓRA & WEISS (1990) (tratto da WEISS, 1991). Commento nel testo.

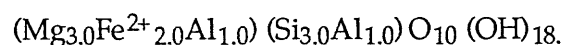
pennantite (b) nel sistema Mn - Al^{VI} - □ - Al^{IV}.

Il nome di questi ultimi due "end-members" è stato suggerito da BAYLISS (1975).

A questo punto, una volta calcolata la formula cristallografica della clorite in esame, il nome può essere ricavato attraverso questi passaggi:

- 1) determinazione del **Tipo** (1 o 2) della clorite studiata: quindi, o si è nel campo a-c-d-e o nel campo e-d-g-;
- 2) determinazione della serie isomorfa principale in base ai due cationi ottaedrici prevalenti, bivalenti Mg ↔ Fe se **Tipo 1**, o trivalenti Al^{VI} ↔ Fe³⁺ se **Tipo 2**. Il nome della clorite studiata viene così determinato dall'"end-member" della serie isomorfa principale;
- 3) determinazione della serie isomorfa subordinata (cationi trivalenti nel **Tipo 1** e bivalente nel **Tipo 2**, che può essere messa in rilievo con l'aggiunta di un aggettivo;
- 4) specificazione della posizione della clorite studiata nella serie isomorfa mediante l'uso di una formula schematica espressa da 3 o 4 parametri: di questi, i primi due (sempre presenti) rappresentano la percentuale dei due cationi che definiscono la serie isomorfa principale, il terzo (presente solo se necessario) riflette la percentuale del catione prevalente nella serie isomorfa subordinata, e il quarto fornisce la percentuale dei cationi ottaedrici rimanenti incluse le vacanze.

Ad esempio, classifichiamo la clorite avente formula:



Essa risulta del **Tipo I** perchè cade nel quadrilatero a-c-d-e; la serie principale è clinocloro-chamosite perchè i suoi cationi ottaedrici dominanti sono Mg e Fe²⁺; il nome è clinocloro ferifero; la formula schematica è Mg₅₀Fe²⁺₃₃X₁₇.

Schema di flusso per la classificazione delle cloriti basato su analisi EMPA di ZANE & WEISS (1996). Rimane ovviamente il problema legato al fatto che la microsonda elettronica non fornisce quantità di Fe³⁺, e che i valori di Fe³⁺, se forniti, sono spesso il risultato di un calcolo convenzionale (WALSHE, 1986; JACOBSON, 1989) piuttosto che di misure sperimentali (Mössbauer etc.). Per ovviare a questo problema ZANE & WEISS (1996) hanno proposto uno schema di flusso per la classificazione semplificata delle cloriti che considera tutto il ferro come ferro bivalente FIG. 3.14a,b. Essa viene qui di seguito descritta con riferimento alla formula calcolata per metà cella.

Dopo il calcolo dei vari contenuti ottaedrici x(Mg), x(Fe), x(Mn), x(Ti), x(Al) (*stadio 1*), vengono determinate le vacanze, x(vac), come differenza tra l'occupazione ottaedrica teorica (6.00 a.f.u.) e la sommatoria dei cationi in coordinazione ottaedrica (*stadio 2*). In base al valore di questa differenza (vacanze) le cloriti vengono suddivise in tri-

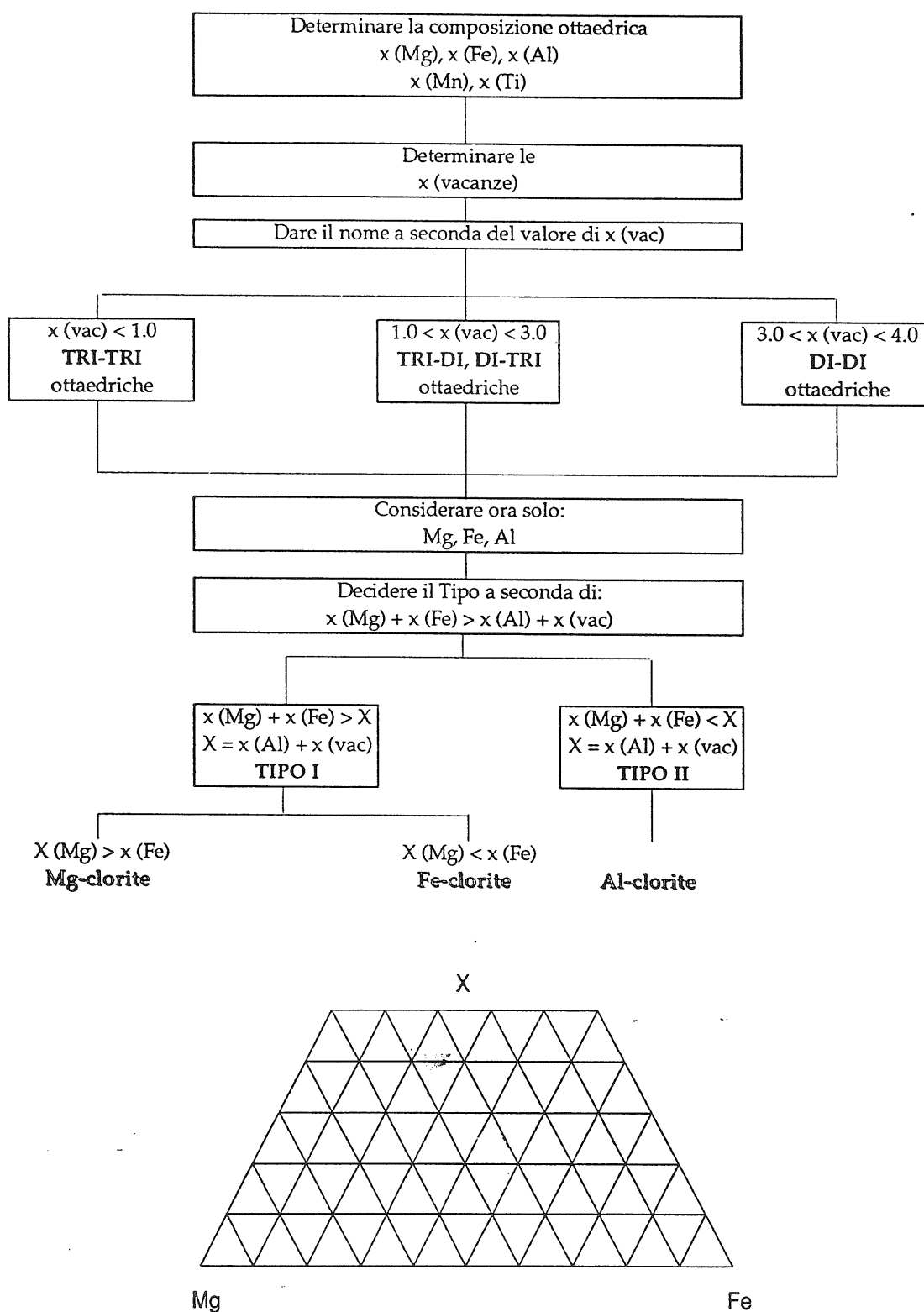


FIG. 3.14. (a) Schema di flusso per classificare le cloriti a partire da dati di microsonda elettronica (ZANE & WEISS, 1996) dove x = contenuto in a.f.u. per metà cella degli elementi in coordinazione ottaedrica e $X = (\text{Al}^{\text{VI}} + \square)$. (b) Triangolo classificativo (modificato da WEISS, 1991 per il significato del vertice X , che qui corrisponde alla somma di $\text{Al}^{\text{VI}} + \square$ mentre in WEISS, 1991 corrisponde alla somma di tutti i cationi ottaedrici trivalenti + $\square$).

triottaedriche, tri-di o di-tri-ottaedriche, di-diottaedriche (*stadio 3*). A questo punto, considerando che nella maggior parte delle cloriti naturali di rocce, gli elementi che occupano i siti ottaedrici sono prevalentemente Mg, Fe e Al, possiamo trascurare d'ora in poi gli altri cationi ottaedrici (*stadio 4*). Pertanto il passaggio successivo (*stadio 5*) prevede il calcolo delle somme $x(\text{Mg})+x(\text{Fe})$ e $x(\text{Al})+x(\text{vacanze})$. Se la prima somma è maggiore della seconda la clorite sarà del **Tipo I**. Se la prima è minore della seconda la clorite sarà del **Tipo II**. Infine, in base ai contenuti di Mg e Fe (*stadio 6*), sarà possibile stabilire nel **Tipo I** se si tratta di una **Mg-clorite** o una **Fe-clorite** mentre nel **Tipo II** la clorite può essere solo che una **Al-clorite**.

I contenuti di Mg, Fe, X (con $X = \text{Al}^{\text{VI}} + \square$) espressi in percentuale possono poi essere utilizzati per costruire una formula della clorite del tipo $X_x\text{Mg}_y\text{Fe}_z$ (con $x+y+z=100$). Inoltre, tali valori possono essere utilmente proiettati nel diagramma triangolare di FIG. 3.14b, tratto da WEISS (1991) e modificato da ZANE & WEISS (1996) per il significato del vertice X, che qui corrisponde alla somma di $\text{Al}^{\text{VI}} + \square$ mentre in WEISS (1991) corrisponde alla somma di tutti i cationi ottaedrici trivalenti + $\square$.

4. LE CLORITI METAMORFICHE: UNA RASSEGNA DELLE CONOSCENZE PRECEDENTI

I dati e le conoscenze sul comportamento delle cloriti in funzione delle variabili intensive ed estensive del metamorfismo che possiamo ricavare dalla letteratura non sono nè abbondanti nè sistematici. Per la maggior parte dei casi si tratta di dati compositivi che si riferiscono ad una determinata regione, spesso non sufficientemente inquadrati dal punto di vista petrologico, e comunque non adeguati per estrapolazioni generalizzate circa le variazioni compositive delle cloriti al variare della temperatura e della pressione. A grandi linee, comunque, il comportamento del chimismo delle cloriti durante il metamorfismo rilevabile dalla letteratura può essere così descritto.

Nelle cloriti di metabasiti, è stato rilevato che un aumento del grado metamorfico è spesso associato ad un aumento del contenuto in Mg (COOPER, 1972; BALTATZIS & KATAGAS, 1984; ISHIZUKA, 1985; CHO *et al.*, 1986) così come dell' Al^{IV} (ERNST *et al.*, 1970; BLACK, 1975; KAWACHI, 1975; MARUYAMA *et al.*, 1983; PE-PIPER, 1984; MARUYAMA & LIOU, 1988). Secondo LEITCH (1975), l'aumento di Mg è concomitante all'aumento di Al^{IV} . Invece KAWACHI (1975) ha riscontrato nelle cloriti degli scisti di Otago una situazione opposta: ad alti valori di Fe si accompagnano nelle sue cloriti, alti valori di Al^{IV} : egli ha suggerito che all'aumentare della temperatura nelle cloriti aumentano in concomitanza Al^{IV} e Fe. Per quanto riguarda le cloriti di medio e "alto" grado metamorfico, uno studio rigorosamente inquadrato dal punto di vista petrologico di GUIDOTTI *et al.* (1991) ha messo in evidenza che le variazioni del grado metamorfico non influiscono sul contenuto in Si^{4+} e Al (Al^{IV} e Al^{VI}) delle cloriti in associazioni limitanti e quasi limitanti, mentre l'aumento del grado metamorfico determina un aumento del rapporto $Mg/(Mg+Fe)$. Comunque, per le metapeliti l'assenza di correlazione tra grado metamorfico e composizione chimica delle cloriti sembra essere, nella letteratura, la situazione più frequentemente riscontrata perlomeno negli studi relativi a campioni provenienti da regioni circoscritte (MIELKE *et al.*, 1979; JIANG & PEACOR, 1994; MENGEL & RIVERS, 1994). Il controllo esercitato dalla composizione chimica del sistema entro cui le cloriti cristallizzano appare comunque sempre importante.

Il campo di stabilità delle cloriti metamorfiche è relativamente ampio. Esso copre tutto l'intervallo termico della facies zeolitica, della facies degli scisti verdi e della parte di più bassa temperatura della facies anfibolitica. La composizione basica del sistema chimico sembra stabilizzare le cloriti verso temperature lievemente più alte, che

comunque non superano i 550°C circa (APTED & LIOU, 1983). Alla medesima temperatura persiste clorite anche nelle metapeliti, come coprodotto di alcune reazioni per lo più a carico di altri fillosilicati. Trattasi però di reazioni non ben studiate sperimentalmente, anche se congruenti con la constatazione che la clorite può ancora essere stabile in rocce a staurolite (KARABINOS, 1985; MPOSKOS, 1989; GUIDOTTI *et al.* 1991; MENGEL & RIVERS, 1994).

Un primo tentativo di correlare composizione, associazione mineralogica e proprietà fisiche delle cloriti fu effettuato da ALBEE (1962). Dalla sua raccolta di 200 analisi pubblicate in letteratura ed effettuate per via umida, ALBEE (1962) evidenziò che la composizione chimica delle cloriti è influenzata innanzitutto dalla composizione globale della roccia e quindi dalla associazione mineralogica. In generale il rapporto Mg/Fe sembra crescere all'aumentare del grado metamorfico.

VELDE & RUMBLE (1977) fecero una prima raccolta di analisi chimiche realizzate in microsonda elettronica, focalizzando la loro attenzione sul contenuto in Al delle cloriti in associazione con muscovite. Dal loro lavoro risulta che nelle cloriti in associazione con muscovite e quarzo le variazioni del grado metamorfico influiscono in piccola misura sul contenuto in Al. Inoltre la clorite della zona a clorite e biotite presenta una maggiore variabilità compositiva rispetto a quella delle zone a granato, staurolite e sillimanite. Tale conclusione è congruente anche con i risultati di GUIDOTTI *et al.* (1991).

Più recentemente, LAIRD (1988) ha presentato un'ampia raccolta di analisi chimiche di cloriti metamorfiche, con lo scopo di individuare possibili correlazioni della composizione chimica di questa fase rispetto alle variabili T, P e alla composizione chimica della roccia totale. Le analisi raccolte da LAIRD (1988), tutte effettuate in microsonda elettronica e normalizzate a 14 ossigeni anidri, sono state proiettate da tale autore in diagrammi appositamente costruiti per metter in evidenza le sostituzioni TK, AM, FM e la eventuale correlazione tra le sostituzioni TK e FM (Al^{VI} vs. Mg/Mg+Fe).

I principali dati raccolti da LAIRD (1988) e le sue principali deduzioni vengono qui di seguito riassunte.

1) *Effetto della composizione della roccia totale*: Come facilmente intuibile, le cloriti delle metapeliti risultano essere le più ricche in Al, mentre quelle di rocce ultramafiche e di metarodingiti le più povere. Le cloriti di rocce metamorfiche acide sembrano occupare un'area compositiva simile a quella delle cloriti di metapeliti e di metabasiti, pur risultando più ricche in Al di queste ultime. Parlando in termini di sostituzioni è stato notato che: a) nelle cloriti di tutti i tipi di roccia è presente una sostituzione TK, che è particolarmente significativa nelle cloriti delle metapeliti, nelle quali si misura il

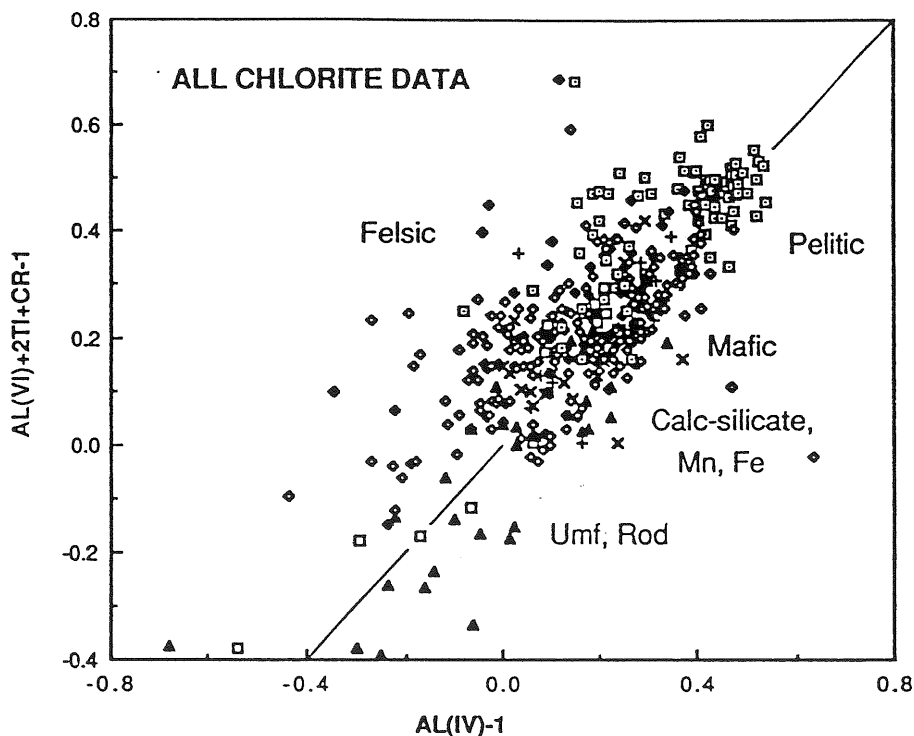


FIG. 4.1. La composizione delle cloriti in rocce metamorfiche di varia composizione: metapeliti (quadrati con punto), metabasiti (rombi vuoti), felsiche (rombi pieni), rocce a silicati di Ca (x), rocce ultramafiche (triangoli pieni, Umf), rodingiti (quadrati, Rod), "iron formation" (triangoli), rocce ricche in Mn (+), cloriti ricche in Mg da metadolomiti. Le variazioni compositive lungo la linea 1:1 rappresentano la sostituzione TK rispetto al termine estremo clinocloro-chamosite posto sull'origine; la distanza dalla retta 1:1 rappresenta la sostituzione AM. (Tratta da LAIRD, 1988).

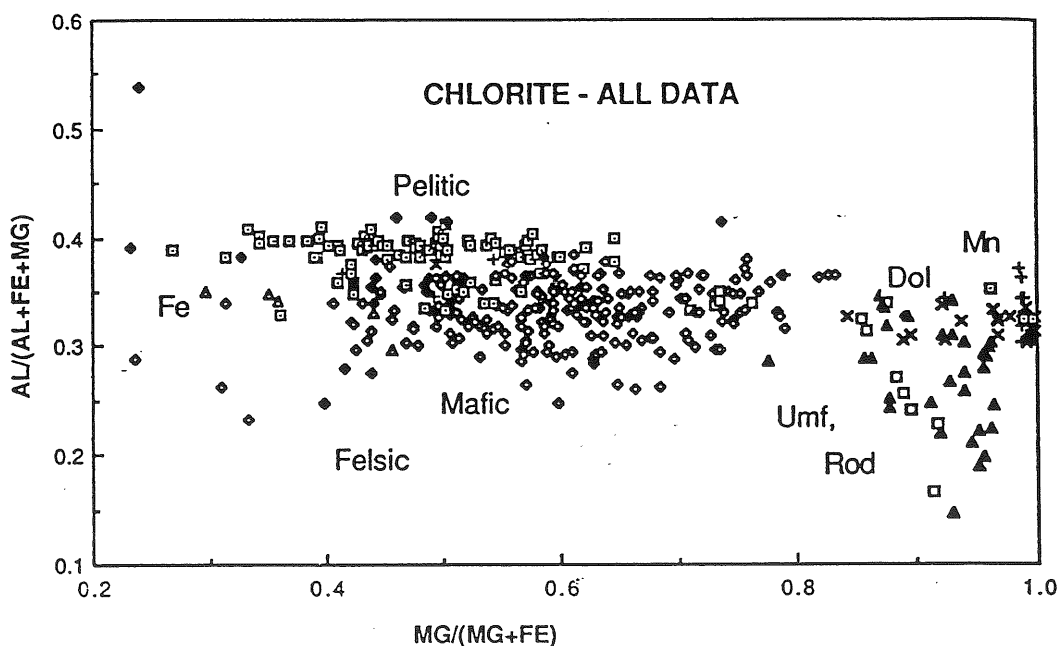


FIG. 4.2. La composizione delle cloriti in rocce metamorfiche di varia composizione: entità della sostituzione FM (in ascissa) e correlazione tra sostituzioni TK (in ordinata) e FM. Simboli come in FIG. 4.1. (Tratta da LAIRD, 1988).

maggior contenuto in Al^{IV} (FIG. 4.1); b) l'entità della sostituzione AM non è valutabile in relazione alla composizione globale della roccia, in quanto per ogni litotipo i punti rappresentativi della clorite presentano una certa dispersione attorno alla retta 1:1; c) nelle cloriti delle metapeliti e di metabasiti, inoltre, la sostituzione $FeMg_{-1}$ copre un ampio intervallo compreso tra i due termini estremi clinocloro e chamosite, anche se il campo compositivo si restringe notevolmente andando a considerare ogni singolo gruppo di dati (FIG. 4.2); d) infine, sembra possibile una qualche correlazione tra le sostituzioni TK e FM in virtù della quale le cloriti più alluminifere sarebbero anche le più ferrifere (FIG. 4.2).

2) *Effetto della pressione*: Valutando questo effetto all'interno di ogni singolo tipo di roccia, le uniche evidenze riscontrate da LAIRD (1988) fra pressione alta, media, bassa (rispettivamente abbreviate qui in HP, MP, LP) risultano essere: a) nelle *metapeliti*, una diversa estensione della sostituzione TK (minore in HP che in MP) e della sostituzione AM (maggior nelle serie di facies di LP e HP che in quella di MP), come si può vedere in FIG. 4.3; nelle *metapeliti* e nelle *rocce felsiche* una correlazione positiva tra l' Al^{VI} e il Fe in ciascuna delle tre serie di facies (LP, MP, HP); c) nelle *metabasiti* assenza di evidenti variazioni compositive delle cloriti al variare della pressione, e di correlazione tra Al^{VI} e il Fe;

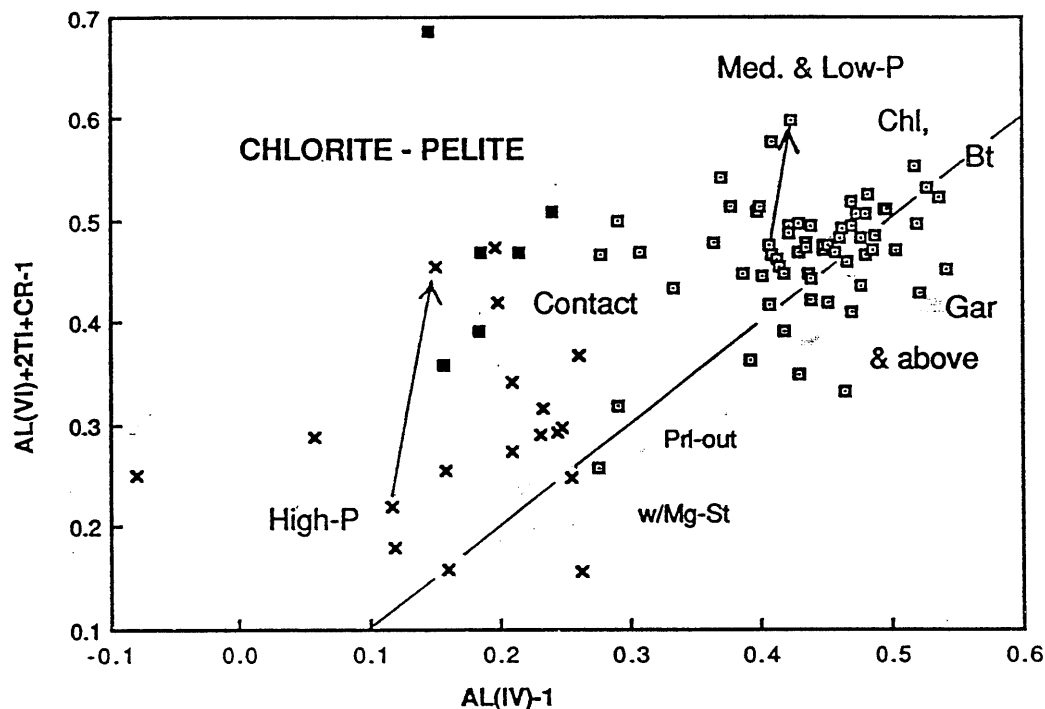


FIG. 4.3. La composizione delle cloriti nelle metapeliti: effetti della pressione (alta, media e bassa) e della temperatura sull'entità delle sostituzioni TK e AM ; la freccia rappresenta l'effetto dell'uso di diverse modalità di normalizzazione delle analisi. Simboli come in FIG. 4.1. (Tratta da LAIRD, 1988).

3) *Effetto della temperatura*:. Valutando questo effetto all'interno di ogni singola serie di facies nell'ambito di un determinato tipo di roccia, gli andamenti presentati da LAIRD (1988) vengono qui di seguito schematizzati.

a) *Metapeliti*. (i) Sostituzione TK (FIG. 4.3): aumenta al passaggio tra diagenesi ed anchizona (FREY, 1987) come anche dimostrato da THOMPSON (1979); poi diminuisce per l'ulteriore aumento del grado metamorfico (dalla zona della clorite alla zona della biotite) nelle rocce di MP (MIYASHIRO & SHIDO, 1985), e in quelle di LP (STEWART & FLOHR, 1984), sebbene teoricamente, secondo le reazioni di THOMPSON (1979), la clorite dovrebbe diventare più Tschermakitica; TK poi diminuirebbe al passaggio dalla zona della biotite alla zona del granato contrariamente a quanto indicato da MIYASHIRO & SHIDO (1985); infine il valore di TK dovrebbe diminuire anche in seguito al "breakdown" della clorite in cloritoide o in staurolite (fasi entrambe ricche in Al). (ii) Sostituzione AM: risulta maggiore nella clorite della zona del granato nelle metapeliti di LP. (iii) Sostituzione FeMg₋₁: la clorite dovrebbe diventare più magnesifera all'aumento del grado metamorfico (come confermato per via analitica e teorica da THOMPSON *et al.*, 1977; CLARKE *et al.*, 1987; KLAPER & BUCHER-NURMINEN, 1987; KURATA & BANNO, 1974; LANG & RICE, 1985).

b) *Metabasiti*. (i) Sostituzione TK (FIG. 4.4) : sembra non rilevabile alcuna variazione nell'entità di TK al variare del grado metamorfico tra diagenesi e facies degli scisti verdi (CHO *et al.*, 1986); poi aumenta sia verso la facies anfibolitica (MARUYAMA *et al.*, 1983) in LP, sia verso la facies degli scisti blu; cresce leggermente all'aumento del grado metamorfico in HP. (ii) Sostituzione AM: è presente nelle cloriti di HP e in quelle della facies zeolitica e a pumpellyite. (iii) Sostituzione FeMg₋₁: all'interno della facies degli scisti verdi è probabilmente controllata dalla composizione globale della roccia.

c) *Rocce felsiche*. (i) Sostituzione AM: in cloriti di metapsammiti diminuisce all'aumentare della T tra diagenesi e facies zeolitica. (ii) Sostituzione TK: in cloriti di metavulcaniti acide, TK diminuisce all'aumentare del grado metamorfico, dalla zona della clorite alla zona della biotite nella serie di facies di LP (STEWART & FLOHR, 1984) come è visibile in FIG. 4.5. (iii) Sostituzione FeMg₋₁ nelle cloriti di metavulcaniti acide, aumenta all'aumentare del grado metamorfico, dalla zona della clorite a quella della biotite.

DE CARITAT *et al.* (1993), hanno affrontato il delicato problema dell'utilizzo della clorite come geotermometro con particolare attenzione agli ambienti diagenetici, anchizonali e idrotermali. Essi prendono in esame quattro metodi geotermometrici tratti dalla letteratura e applicando tre di questi ad alcune analisi di cloriti cristallizzate in

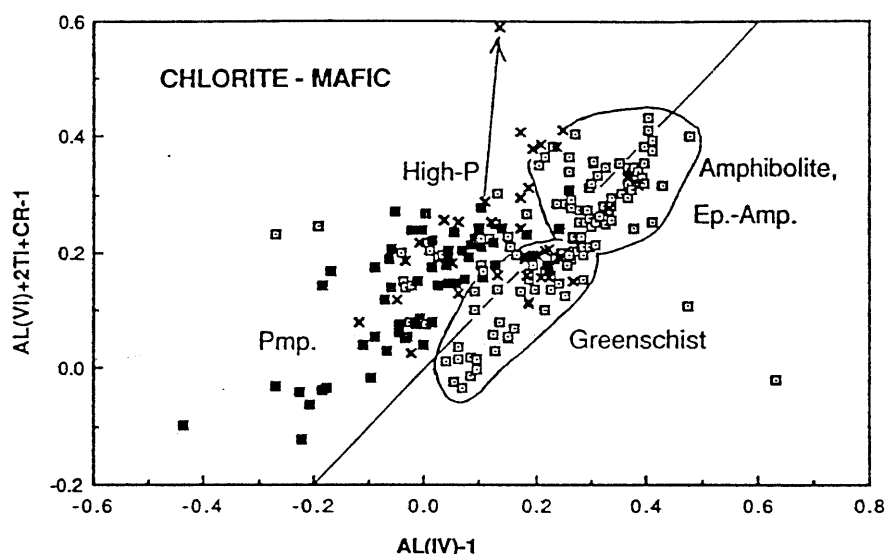


FIG. 4.4. La composizione delle cloriti nelle metabasiti: effetti della pressione e della temperatura sull'entità delle sostituzioni TK e AM . I quadrati pieni rappresentano analisi di cloriti della facies a zeolite e della facies a pumpellyite-actinolite; la linea continua racchiude cloriti di bassa e media pressione, le crocette rappresentano cloriti di alta pressione. La freccia rappresenta l'effetto dell'uso di diverse modalità di normalizzazione delle analisi (tratta da LAIRD, 1988).

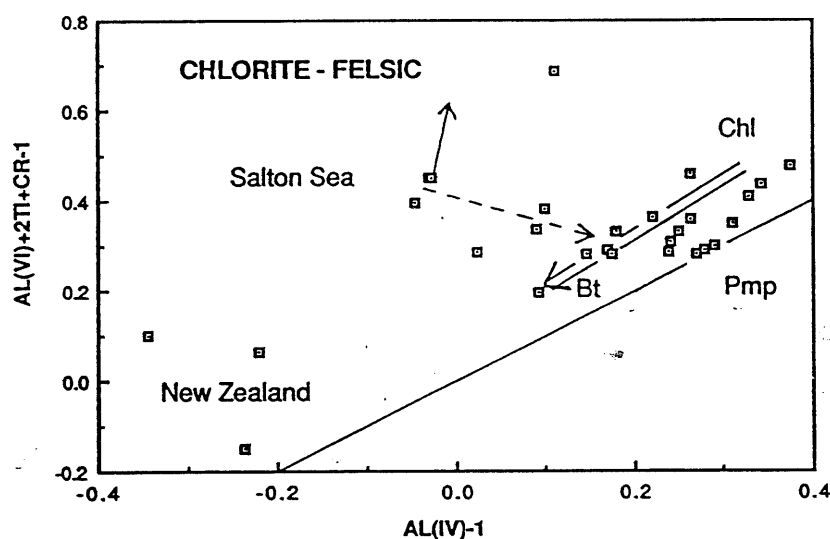


FIG. 4.5. La composizione delle cloriti in rocce felsiche: effetto della temperatura sull'entità delle sostituzioni TK e AM . La freccia rappresenta l'effetto dell'uso di diverse modalità di normalizzazione delle analisi. La doppia freccia rappresenta le variazioni nella composizione della clorite dalla zona della clorite alla zona della biotite (STEWART & FLOHR, 1987). La freccia tratteggiata indica le variazioni nella composizione della clorite all'aumentare della profondità nel campo geotermico di Salton Sea. Le analisi indicate come "New Zealand" sono di BOLES & COOMBS (1977). Le analisi indicate come "Pmp" si riferiscono sia alla facies zeolitica che alla facies a pumpellyite-actinolite (tratta da LAIRD, 1988).

diverse associazioni mineralogiche ed a temperature comprese tra 25-322°C.

Secondo DE CARITAT *et al.* (1993), alla base di ogni studio geotermometrico andrebbe valutato in che modo altri parametri quali f_{O_2} , pH della fase fluida, Fe/(Fe+Mg) e composizione globale della roccia così come l'associazione mineralogica, possano influenzare la composizione della clorite. L'importanza di quest'ultimo carattere, già evidenziato da ALBEE (1962), sarebbe stato poi trascurato nei successivi studi geotermometrici, anche se l'esistenza di una relazione tra il rapporto Fe/(Fe+Mg) della clorite e quello della roccia ospite è stata dimostrata (CATHELINEAU & NIEVA, 1985; BEVINS *et al.*, 1991).

Secondo DE CARITAT *et al.* (1993) esiste anche una relazione tra f_{O_2} , associazione mineralogica della roccia ospite e il rapporto Fe:Mg:Al nella clorite. Considerando fase fluida e minerale in equilibrio e a T, P costanti, e fissata una determinata associazione mineralogica più o meno ricca in Al (es. clorite+Kfeldspato, clorite+smectite, clorite+illite etc.) il rapporto Fe:Mg della clorite dipenda dalla f_{O_2} . Ciò considerato, secondo DE CARITAT *et al.* (1993), bisogna stabilire se il controllo della temperatura sulla composizione della clorite prevalga o meno rispetto al controllo esercitato dalla composizione globale della roccia. Nel primo caso lo stesso metodo geotermometrico potrebbe essere applicato a tutte le cloriti, indipendentemente dal litotipo, nel secondo caso le relazioni tra composizione della clorite e temperatura andrebbero studiate separatamente in base al tipo di roccia.

I 4 geotermometri presi in considerazione da DE CARITAT (1993) sono:

1) un metodo proposto da CATHELINEAU (1988), ed in seguito rivisitato da altri autori (KRANIDIOTIS & MAC LEAN (1987); JOWETT, 1991), che fornisce una calibrazione della relazione tra Al^{IV} e T misurata nei sistemi geotermali;

2) un metodo proposto da HAYES (1970), basato sullo studio dei politipi e sull'osservazione (per lo più qualitativa), che i cambiamenti strutturali nella clorite possono essere T-dipendenti;

3) un metodo proposto da WALSHE (1986), che presenta un modello per la clorite in equilibrio con una soluzione acquosa a sei componenti, utilizzando proprietà termodinamiche calibrate con dati da sistemi geotermali ed idrotermali;

4) un metodo proposto da HUTCHEON (1990), che è applicabile nel caso in cui sia nota la composizione di una fase carbonatica coesistente con la clorite. Questo metodo si basa sull'intersezione della reazione clorite-carbonato con la superficie di miscibilità CO_2 - H_2O in un diagramma T *vs.* X_{CO_2} .

Per quanto riguarda il metodo 1), CATHELINEAU & NIEVA (1985) hanno considerato

delle cloriti formatesi per alterazione idrotermale di andesiti nel sistema geotermico di Los Azufres (Mexico). Le temperature di formazione delle cloriti studiate (130-300°C) sono state stimate con tre diversi metodi: *i*) dati microtermometrici su inclusioni fluide; *ii*) misure dirette in pozzi; *iii*) vari geotermometri basati sulla composizione chimica delle cloriti. Gli autori hanno quindi individuato e calcolato dei coefficienti di correlazione sia tra parametri chimici diversi, sia tra temperatura e composizione chimica delle cloriti. Nel primo caso i risultati ottenuti mostrano una correlazione positiva tra Al^{IV} vs. Fe^{VI} e Al^{VI} vs. r ed una correlazione negativa tra Al^{IV} vs. Al^{VI} e Al^{IV} vs. r . Nel secondo caso, il risultato principale ottenuto da CATHELINEAU & NIEVA (1985) riguarda l'esistenza di una correlazione positiva tra il contenuto di Al^{IV} e la temperatura di formazione delle cloriti nel sistema geotermico di Los Azufres. CATHELINEAU (1988), sulla base di nuove analisi ha ottenuto la seguente relazione tra T (°C) e Al^{IV} :

$$T = -61.92 + 321.98 Al^{IV}$$

equazione che, secondo l'autore, potrebbe essere adoperata sia in sistemi diagenetici che metamorfici e idrotermale. Tuttavia la presenza significativa di $Ca+Na+K$ nelle analisi di CATHELINEAU & NIEVA (1985) e la mancata documentazione di tali quantità nel lavoro di CATHELINEAU (1988) (VELDE *et al.* 1991; JIANG *et al.*, 1994) rendono plausibile il dubbio che le analisi utilizzate per la calibrazione di questo geotermometro possano in realtà riferirsi ad associazioni intime tra clorite ed altri fillosilicati (probabilmente smectite).

Per quanto riguarda i metodi geotermometrici 2), 3), 4), mi limiterò a riassumere qui di seguito le conclusioni tratte da DE CARITAT *et al.* (1993).

Il metodo basato sul politipismo ha un carattere per lo più qualitativo e la mancanza di studi sistematici pertinenti lo rendono poco utilizzabile. La transizione dal tipo strutturale I al tipo strutturale II non avviene sempre alle temperature indicate da HAYES (1970), e cioè 200°C. Infatti è stato dimostrato che il tipo strutturale IIb può formarsi anche a T inferiori (50-150°C, WALKER, 1989; WALKER & THOMPSON, 1990), mentre il politipo Ia può essere stabile fino a T di 300°C (WEAVER *et al.*, 1984). Altri fattori oltre alla temperatura, quindi, possono influenzare questo tipo di trasformazione: la grana, la pressione del fluido ed il tempo.

Gli altri due metodi invece (più quello di CATHELINEAU, 1988), basati sulle caratteristiche compositive della clorite, sono stati verificati dagli autori utilizzando analisi tratte dalla letteratura di cloriti provenienti da regolite, da bacini sedimentari e da terreni di sistemi geotermici, per le quali erano disponibili altre informazioni quali T , P

e/o profondità di cristallizzazione.

Partendo dal presupposto che in sondaggi profondi le T misurate al momento del campionamento rappresentino effettivamente le temperature alle quali la clorite si è formata o si è riequilibrata, nessuno dei geotermometri applicati ha fornito stime adeguate dell'effettiva T di cristallizzazione per l'intero gruppo di analisi. La correlazione tra Si^{IV} (e quindi Al^{IV}) e temperatura può essere dimostrata solo raggruppando le analisi in base al loro contenuto in Al. In ultima analisi, questi geotermometri possono essere utilizzati solo per condizioni chimico-fisiche di cristallizzazione simili a quelle della regione in cui è stata effettuata la calibrazione del dato geotermometro: differenze della composizione della roccia totale, dell'associazione mineralogica, della f_{O_2} etc., possono fortemente condizionare le stime geotermometriche ottenibili da queste funzioni empiriche.

- le formule per cella unitaria (sulla base di 28 ossigeni);
- il grado metamorfico (T);
- le condizioni di pressione (P).

Il cerchietto nero contrassegna, invece, le analisi scartate in seguito all'applicazione dei "filtri" spiegati in precedenza.

5.2 NUOVE ANALISI CHIMICHE

Per le finalità di questo studio sono state effettuate 2365 nuove analisi di cloriti triottaedriche mediante spettrometria WDS-EMPA su un totale di 54 campioni di rocce metamorfiche particolarmente selezionate. I criteri d'inquadramento adottati per le nuove analisi sono gli stessi presentati nel paragrafo precedente, con la sola differenza che tutte le nuove analisi si riferiscono esclusivamente, come previsto dal progetto di ricerca, a condizioni termiche riferibili alla facies degli scisti verdi.

Ovviamente anche per l'acquisizione dei nuovi dati sono stati adottati gli stessi vincoli chimici visti nel paragrafo precedente:

- $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} < 0.5\%$ in peso;
- occupanza ottaedrica totale compresa tra 10.9 e 12.1 a.f.u.;
- contenuto in Si^{4+} compreso tra 4.68 e 6.90 a.f.u..

Particolare attenzione è stata posta nell'escludere situazioni quali: a) possibili interlamellature submicroscopiche con muscovite e biotite; b) contaminazioni dei risultati analitici per la presenza di quarzo, opachi (es. ossidi di titanio) o altri minerali, nella microarea colpita dal fascio elettronico. Il caso a) può essere rilevato dal contenuto elevato di alcali + Ca (che normalmente non trovano posto nella struttura della clorite). Il caso b) è di più difficile individuazione, e spesso si manifesta con apparenti diminuzioni del contenuto in Al^{IV} ed aumenti delle vacanze. JIANG *et al.* (1994) hanno messo in guardia dalle possibili contaminazioni alle quali può essere soggetta una analisi di clorite. Secondo questi autori, l'analisi chimica eseguita su una "miscela" costituita dal 4% in peso di quarzo ed il 96% in peso di clorite, darebbe origine a 0.36 vacanze per formula unitaria. Particolari precauzioni quindi sono state adottate per l'acquisizione dei nuovi dati in microsonda elettronica, sottoponendo ad analisi esclusivamente sezioni non basali di cristalli di clorite omogenei dal punto di vista ottico. Infine è importante sottolineare che, a differenza dei dati raccolti dalla letteratura, l'intero gruppo di nuove analisi realizzate per questa tesi non presenta, al suo interno, errori sistematici.

L'intera popolazione di nuove analisi, tutte riguardanti campioni della facies degli scisti verdi, è stata inquadrata secondo tre fondamentali parametri (I, II, III

rispettivamente: la composizione della roccia totale, le condizioni di pressione, il grado metamorfico) ed i gruppi così ottenuti sono stati ulteriormente suddivisi in più categorie:

I) in base alla composizione chimica della roccia totale:

- A: cloriti di metapeliti;
- B: cloriti di metabasiti;
- C: cloriti di metarioliti;

II) in base alle condizioni di pressione (P):

- LP: cloriti di bassa pressione
- MP: cloriti di pressione intermedia
- HP: cloriti di alta pressione

III) in base alle condizioni di temperatura (T):

- a) per le metapeliti e le metarioliti:
 - 2: cloriti della zona della clorite;
 - 3: cloriti della zona della biotite;
 - 4: cloriti della zona del granato;
- b) per le metabasiti:
 - 2: cloriti della zona clorite-actinolite;
 - 4: cloriti della zona albite-orneblenda.

Tutte le analisi chimiche nuove suddivise per campione vengono riportate nell' Appendice. Per ogni campione di roccia, è stata proposta una Tabella che raccoglie le analisi chimiche delle rispettive cloriti, e che inoltre specifica:

- il nome del campione
- il litotipo
- il microsistema (o microdominio strutturale) entro cui la lamella di clorite analizzata è cristallizzata.

Si ricorda che le formule sono state calcolate sulla base di 28 O anidri.

Le analisi sopra indicate non sono le sole EMPA da me fatte: infatti, nel corso delle analisi petrografiche è stato ritenuto opportuno effettuare numerose altre analisi EMPA di muscovite, biotite, granato, anfibolo e plagioclasio, i cui risultati sono stati tenuti presenti nelle descrizioni petrografiche delle rocce, ma non sono state inserite nell'appendice.

6. PETROGRAFIA DEI CAMPIONI UTILIZZATI

6.1 STRATEGIA DI CAMPIONATURA ED INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Da un attento studio della letteratura è stato possibile individuare le aree utili per una campionatura rappresentativa di ciascuna delle condizioni termobarometriche di interesse per questa ricerca.

Ciascun gruppo di campioni, proviene da una determinata località ed è rappresentativo di uno specifico intervallo di pressione, di uno specifico litotipo e di uno specifico grado metamorfico.

I campioni sono stati classificati in tre categorie dal punto di vista barico (rispettivamente di pressione bassa, intermedia, alta), in tre categorie dal punto di vista litologico (metapeliti, metabasiti, metarioliti) e in tre o due categorie per il grado metamorfico (e precisamente zona a clorite, zona a biotite, zona a granato almandino per le metapeliti e metarioliti; zona a clorite-actinolite, zona ad albite-orneblenda per le metabasiti).

Come detto in precedenza, la presente ricerca è stata progettata per studiare il chimismo delle cloriti di basso grado metamorfico nelle situazioni più comuni in natura, cioè in associazioni non limitanti. Quindi, nel raccogliere i campioni di metapeliti, sono state considerate rocce di composizioni molto comuni, e solo in qualche caso ci si è imbattuti in associazioni limitanti (o "quasi limitanti", nel senso che le fasi che costituirebbero le associazioni limitanti non sono a contatto fisico reciproco, ma sono coesistenti nel microlivello considerato).

Per la **bassa pressione (LP)** sono state scelte rocce metamorfiche del Basamento Sudalpino delle Alpi Orientali (SCB). Come è noto (SASSI & SPIESS, 1993 e letteratura citata), questo basamento affiora in tre aree: 1) Sarentino - Pusteria - Comelico; 2) Valsugana - Cima d'Asta - Agordo - Cereda; 3) Recoaro.

Secondo un modello litostratigrafico presentato da SASSI & ZIRPOLI (1989) l'SCB è costituito da tre complessi rocciosi: Complesso Pelitico Psammitico Inferiore (LPC), Complesso Vulcano-Sedimentario (VSC), Complesso Pelitico-Psammitico Superiore (UPC). L'età di sedimentazione del LPC è stata attribuita al pre-Caradociano grazie al ritrovamento di filladi ricche in acritarchi. Il VSC, caratterizzato dai prodotti di una intensa attività magmatica prevalentemente acida ma anche basica, viene considerato tardo Ordoviciano sulla base di correlazioni su lunga distanza. L'UPC presenta caratteristiche litologiche e metamorfiche del tutto simili a quelle del LPC. Questi tre complessi registrano il metamorfismo Varisico, sviluppatosi in questo basamento in

condizioni di bassa pressione e a temperature che coprono l'intero intervallo della facies degli scisti verdi. Sono stati riconosciuti due episodi metamorfici principali: uno sincinemático (foliazione S₂) ed uno postcinemático rappresentativo dell'apice termico. Il gradiente termico stimato è di 40°C/Km.

I gruppi di campioni di **pressione intermedia (MP)** includono:

- 1) campioni provenienti dalla Val di Vizze e dalla Val Cesa in Alto Adige e più precisamente dal complesso di calcescisti con ofioliti appartenente al Pennidico della Finestra Tettonica degli Alti Tauri occidentali (DE VECCHI & BAGGIO, 1982; DE VECCHI, 1989, 1989a). L'età di tale complesso è Giurese fino a Cretacica inferiore. Le metamorfiti considerate per questo studio, micascisti granatiferi intercalati ai calcescisti ed anfiboliti, registrano il cosiddetto metamorfismo dei Tauri di età alpina, di tipo barroviano, sviluppatosi in quest'area tra la zona di più alta temperatura della facies degli scisti verdi e la zona di più bassa temperatura della facies anfibolitica (550-600°C, 6Kb: DE VECCHI & PICCIRILLO, 1968; SCHULZ *et al.*, 1996);
- 2) campioni provenienti dalle Highlands scozzesi e precisamente dalle aree classiche per la zoneografia del metamorfismo barroviano: zona a clorite nelle aree di più basso grado e zona a biotite, granato, cianite e sillimanite per temperature crescenti. FETTES *et al.* (1976) hanno dimostrato l'esistenza di una progressiva diminuzione della pressione e di un aumento del gradiente termico metamorfico dalle Highlands sud-occidentali, attraverso le Highlands centrali fino all'area nord-orientale, caratterizzata da un metamorfismo di bassa pressione, il cosiddetto metamorfismo Buchan. Le metamorfiti utilizzate per questa ricerca, metapeliti e metabasiti in facies degli scisti verdi, provengono sia dalle Highlands centrali (che hanno il tipico metamorfismo barroviano di pressione intermedia), sia dalle Highlands occidentali (per le quali è stata stimata una pressione di 10Kb per temperature comprese tra i 410°C e i 530°C (FETTES, comunicazione personale). Per questi ultimi campioni quindi i valori di pressione sarebbero i più alti nell'ambito del metamorfismo barroviano, come già indicato da FETTES *et al.* (1976).

I gruppi di campioni di **alta pressione (HP)** includono:

- 1) campioni provenienti dai domini centrali e più profondi dei Carpazi Occidentali e più precisamente dagli Jasov Beds, di età Permiana inferiore. Si tratta di metapeliti che hanno subito in età alpina un evento metamorfico di basso grado (zona della clorite), per il quale sono state dimostrate condizioni barometriche di pressione alquanto alta (gradiente metamorfico stimato: 10 °C/Km: MAZZOLI *et al.*, 1992).
- 2) Un campione proveniente dalla Roc de la Valette (Alpi Occidentali). Dal punto di

vista geologico si tratta di un livello metapelitico della copertura mesozoica dell'Unità della Vanoise meridionale. Stime termometriche hanno fornito valori di T di circa 350 °C, e la presenza di cloritoide + Mg-carpholite nello stesso livello roccioso (non nel campione considerato) indicano condizioni di alta pressione. Dettagli ulteriori sia di natura petrologica che geologica possono essere trovati in GOFFÈ & VELDE (1984) e DE ROO & LISTER (1987).

3) Un campione di metabasite proveniente da Ile de Groix, appartenente al Basamento Pre-Cambriano delle zone interne delle Variscidi del Massiccio Armoricano. La presenza di glaucofane nelle metabasiti di Ile de Groix fa attribuire queste rocce ad un metamorfismo di alta pressione (facies degli scisti blu).

Vengono qui di seguito forniti i caratteri petrografici delle rocce considerate, limitatamente a quelli essenziali e senza scopi nè di petrografia regionale nè di petrologia generale: l'intento dello studio al microscopio da me fatto era infatti quello di acquisire consapevolezza del contesto petrografico fondamentale entro cui sono inserite le lamelle di clorite che andavo scegliendo per le analisi alla microsonda.

6.2 POPOLAZIONE DI CAMPIONI DI BASSA PRESSIONE: PETROGRAFIA ED INTERVALLI DI TEMPERATURA

6.2.1 Le metapeliti

Sono stati studiati 21 campioni di metapeliti riconducibili a 5 diversi gruppi provenienti dalle seguenti località: Comelico, Recoaro, Pusteria, Luson, Val Sarentino facenti parte del Basamento Sudalpino delle Alpi Orientali.

Per i motivi prima detti, tutte le metapeliti raccolte per rappresentare le condizioni di bassa pressione sono state scelte di composizione relativamente povera in Al come indicato dalla sistematica assenza di cloritoide.

Viene qui di seguito presentata una descrizione delle principali caratteristiche petrografiche di ciascun gruppo.

6.2.1.1 Gruppi di bassa temperatura (Comelico, Recoaro)

COMELICO (C2, C3, C-A5, C-A11)

I campioni del Comelico studiati presentano una matrice a grana molto fine (lamelle di clorite e muscovite lunghe mediamente 25µm), indice di un basso grado di ricristallizzazione. La struttura di queste metapeliti è costituita dall'alternarsi di letti compositivamente diversi: essenzialmente granoblastici, essenzialmente lepidoblastici, oppure con porzioni varie di fillosilicati e minerali granoblastici.

La struttura, da scistoso-piana ad ondulata e localmente pieghettata, evidenzia le diverse risposte agli sforzi compressivi di letti con diverse composizioni mineralogiche. I letti granoblastici, infatti, risultano debolmente deformati con ondulazioni a maggiore raggio di curvatura mentre i letti lepidoblastici, pieghettati intensamente, sviluppano una foliazione (S_2) poco penetrative e spaziata ad alto angolo rispetto alla scistosità prevalente (S_1). Inoltre, lungo tale piano, è possibile notare un allineamento (verosimilmente meccanico) di cristalli di ilmenite, e dispersione di ossidi di Fe.

Talvolta, la presenza di granuli di quarzo di dimensioni nettamente maggiori rispetto alla grana della massa di fondo, conferisce alla roccia una struttura tendenzialmente occhiadina (C-A5).

I componenti mineralogici principali sono: quarzo, albite, miche chiare, cloriti.

Tra i minerali accessori ricordiamo: ilmenite, zircone, tormalina, apatite, grafite, ossidi di Fe.

Il *quarzo* si presenta nei letti granoblastici in granuli di diverse dimensioni, tendenzialmente isodiametrici. Nei letti lepidoblastici, invece, spesso assume una forma allungata orientata parallelamente alla scistosità principale. Il quarzo, inoltre, può formare venette discordanti rispetto alla scistosità prevalente, talora dislocate dai piani S_2 (campione C2).

Il *plagioclasio*, di composizione albitica, si manifesta in due diversi modi. Una prima generazione, cristallizzata precedentemente alla deformazione S_1 , è costituita da cristalli spesso geminati, deformati, con fratture risanate da quarzo microblastico (C2). Una seconda generazione è costituita da granuli non deformati nè geminati, disposti sia nei letti granoblastici che lepidoblastici, verosimilmente sin- S_1 .

La *mica chiara* si presenta per lo più sotto forma di sericite. Si osservano inoltre lamelle di muscovite di maggiori dimensioni disposte sia con orientazione casuale, sia, ma di rado, lungo i piani S_2 .

La *clorite* cristallizza in diverse situazioni: a) in microcristalli nella massa di fondo; b) in lamelle di maggiori dimensioni disposte parallelamente alla S principale (sia nei letti lepidoblastici che granoblastici); c) in lamelle perpendicolari alla scistosità a contatto con muscovite e quarzo; d) all'interno di aggregati lenticolari localizzati nei livelli sericitici. Infine la clorite (e) può riempire venette con andamento subparallelo ai piani di scistosità S_1 , che vengono talora dislocate dai piani di taglio S_2 . All'interno di una di queste venette (campione C3) disposta tra due letti sericitici intensamente pieghettati, sono state osservate delle piccole lamelle di muscovite con orientazione conforme a quella dei di S_2 . Sono inoltre evidenti, nei letti micacei, numerose "spalmature" di

idrossidi di Fe giallo-marroni.

L'*ilmenite* appare in idioblasti tabulari spesso intimamente associati a rutilo e/o leucoxeno, con dimensioni che arrivano fino a mezzo millimetro. La maggior parte delle ilmeniti sono allineate lungo la S principale. Non mancano però individui con orientazione apparentemente casuale o addirittura perfettamente paralleli alla S_2 . Quest'ultimo tipo di allineamento si può ritenere di natura meccanica, dovuto a rotazioni postcristalline.

L'analisi microstrutturale e le considerazioni mineralogiche hanno messo in evidenza la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- un primo evento deformativo (Def_1) ha portato alla cristallizzazione sincinemica (Cr_1) di mica chiara, clorite, quarzo, albite, ilmenite lungo piani di scistosità S_1 subparalleli ai piani di sedimentazione S_0 (definiti dall'alternanza dei letti a composizione mineralogica diversa);
- un secondo evento deformativo (Def_2), ha determinato il pieghettamento dei letti più marcatamente lepidoblastici, con conseguente formazione dei piani di taglio S_2 ; tali piani hanno a volte dislocato venette di quarzo e clorite, dimostrando che la formazione di tali vene è avvenuta precedentemente alla deformazione;
- infine, una blastesi postcinematica (Cr_2) ha portato alla cristallizzazione di rare lamelle di muscovite lungo i piani S_2 .

Dall'analisi delle compatibilità mineralogiche e dal grado di ricristallizzazione, si può concludere che queste rocce sono state interessate da un metamorfismo di basso grado corrispondente alla zona a clorite della facies degli scisti verdi.

La pressione stimata (SASSI & SPIESS, 1993) è di circa 3 Kb.

RECOARO (14, 16, 21, 27, 30)

Le metapeliti di Recoaro presentano un grado di ricristallizzazione maggiore rispetto a quelle del Comelico prima descritte. Le dimensioni delle lamelle di clorite e muscovite presenti nella matrice sono di 25µm circa in lunghezza, mentre le lamelle statiche arrivano a 50µm.

Tra le filladi di Recoaro si possono riconoscere 4 diversi tipi di microstrutture: 1) lepidoblastica, costituita essenzialmente da letti micacei intercalati a rari e sottili livelli granoblastici (campione 30); 2) eteroblastica, definita da microporfiroblasti plagioclasici che spiccano sulla massa di fondo sericitica (campione 27); 3) porfiroblastica, definita dalla presenza di porfiroblasti di plagioclasio ben sviluppati, di dimensioni anche superiore al mm (campioni 14, 16); 4) lepido-granoblastica, per l'alternanza di letti

compositivamente diversi (campione 21).

La struttura, in tutti i campioni, è scistoso-piana, definita dai piani di scistosità S_2 . Si individua tuttavia ancora la vecchia scistosità S_1 , sotto forma di cerniere e fianchi relitti di micropieghe coricate. La S_2 , comunque, risulta essere la scistosità prevalente ed è spesso marcata da livelli di ossidi di Fe.

I componenti mineralogici principali sono: mica chiara, clorite, quarzo, plagioclasio. Sono presenti come minerali accessori: ilmenite, zircone, tormalina, K-feldspato (27), apatite (nel campione 21 si presenta in cristalli di grandi dimensioni), ossidi di Fe e Ti.

Il *quarzo* costituisce in gran parte i livelli granoblastici, assumendo una forma per lo più isodiametrica. Può apparire nei letti lepidoblastici in individui isolati di forma piatta e di dimensioni nettamente maggiori rispetto alla massa di fondo, oppure in piccoli cristalli spesso orientati parallelamente ai fillosilicati. Nel campione 21 si presenta invece in granuli dai contatti irregolari e con estinzione ondulata.

Il *plagioclasio* si presenta sia in cristalli sincinemati che individui postcinematici. I primi, che a volte sono anche gli unici (21), si trovano nei letti granoblastici assieme al quarzo; essi sono di composizione albitica, non sono geminati, e non presentano inclusioni. I secondi, invece, sono nucleati preferenzialmente nei letti di mica; spesso sono geminati, e presentano scie d'inclusione opacitiche; a volte singoli individui sono radunati in aggregati a grappolo.

Nelle rocce a struttura eteroblastica (27), il plagioclasio postcinematico assume un aspetto ameboide e dimostra di essere accresciuto a spese della mica. Le scie che include, costituite da materiale opacitico ma anche da lamelline di mica, sono concordanti con la scistosità esterna. Spesso presentano zonature inverse, con nucleo di composizione albitica e periferia oligoclasica, testimoniando una cristallizzazione avvenuta sotto temperature crescenti. Alcuni individui, invece, privi di inclusioni, hanno una composizione totalmente oligoclasica.

Nelle rocce a struttura porfiroblastica (14, 16), il plagioclasio postcinematico, spesso geminato, presenta scie di inclusione opacitiche nelle quali è possibile riconoscere sia la S_2 che le pieghe relitte della S_1 . Sono stati osservati come inclusi anche zirconi e tormaline. L'orientazione delle scie è discordante con la scistosità esterna formando angoli anche di 90° con la S_2 . Questi individui, ben sviluppati, hanno forma subrotondeggiante con bordi frastagliati. Spesso sono zonati con nucleo albitico e periferia oligoclasica. Nelle filladi a struttura lepidoblastica (30) e lepidogranoblastica (21), questo tipo di plagioclasio è assente.

La *muscovite* si trova cristallizzata sincinematicamente sia lungo la nuova che lungo la

vecchia scistosità (S_2 e S_1), oppure postcinematicamente sulle pieghe di S_1 in archi poligonali, o, infine, in lamelle senza orientazione preferenziale.

La *clorite* si rinviene in diverse situazioni: a) sotto forma di lamelle sincinematiche che sottolineano la vecchia scistosità S_1 oppure, raramente, lungo i piani S_2 ; b) in cristalli postcinematici spesso orientati perpendicolarmente rispetto alla S_2 ; oppure c) in ombre di pressione dell'ilmenite (30, 14, 16, 27).

Gli individui tabulari di *ilmenite* (di piccolissime dimensioni nel campione 21) si dispongono sia parallelamente che trasversalmente alla scistosità prevalente creando delle ombre di pressione dove cristallizza la clorite. Sono spesso associati a rutilo.

Partendo dalle considerazioni mineralogiche e microstrutturali appena viste si può dedurre la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- un primo evento deformativo Def_1 , che ha determinato la cristallizzazione Cr_1 , lungo piani di scistosità S_1 , di quarzo, muscovite, clorite, plagioclasio, ilmenite;
- un secondo evento deformativo Def_2 , che ha provocato un forte ripiegamento della S_1 e, nei letti con maggiore contenuto di miche, l'instaurarsi di una foliazione S_2 lungo i fianchi delle micropieghe coricate. Nei livelli granoblastici tale anisotropia può essere assente. Lungo la S_2 , che risulta essere la scistosità prevalente, cristallizza soprattutto muscovite, quarzo, plagioclasio e raramente clorite;
- una fase statica Cr_3 , con cristallizzazione postcinematica di plagioclasio, di muscovite e di clorite, quest'ultima sotto forma di lamelle senza orientazione, e a volte formanti archi poligonali e riempimento di ombre di pressione.

Dal punto di vista geotermometrico, nelle metapeliti di Recoaro la presenza di abbondante clorite non accompagnata da cristallizzazione di biotite e di granato almandino indica condizioni termiche riconducibili alla zona a clorite della facies degli scisti verdi. Tuttavia, la presenza di un bordo oligiclasico nei plagioclasii postcinematici dei campioni 14, 16, e 27 indica che durante la fase statica la temperatura è andata aumentando fino a raggiungere temperature che possono avere sfiorato quelle della zona a biotite in facies degli scisti verdi (SASSI & ZIRPOLI, 1962).

Le condizioni di pressione si possono ricondurre a quelle stimate per l'intero basamento sudalpino delle Alpi Orientali (SASSI & SPIESS, 1993). Si tratta cioè di condizioni di bassa pressione (circa 3Kb).

6.2.1.2 Gruppo di temperatura intermedia (Plan de Corones, Pusteria)

PUSTERIA (29a, 29b, 92a, 52b)

Le filladi che appartengono a questo gruppo sono state suddivise in due sottogruppi:

- 1) sottogruppo a biotite, nel quale la clorite è in associazione con biotite;
- 2) sottogruppo a biotite cloritizzata, nel quale i lepidoblasti con pleocroismo marroncino fino a giallo rappresentano biotite in via di cloritizzazione a contenuti vari di K_2O e comunque ben inferiori a quelli tipici della biotite.

Sottogruppo a biotite (29a; 29b)

Queste rocce sono costituite dal ripetuto alternarsi di letti granoblastici con letti lepidoblastici, i quali ultimi possono avere dimensioni, in spessore, da millimetrica (29b) fino a centimetrica (29a). Le lamelle di clorite sono lunghe mediamente $100\mu m$. La struttura può essere scistosa piana o scistosa pieghettata. E' evidente il diverso effetto delle deformazioni nei livelli a diversa composizione. Infatti, nei letti preferenzialmente granoblastici, le pieghe presentano un ampio raggio di curvatura mentre nei letti preferenzialmente lepidoblastici compare un ripiegamento più spinto. La scistosità prevalente è in entrambi i casi la S_2 , spesso sottolineata dalla distribuzione di ossidi di Fe.

I **componenti principali** sono: quarzo, plagioclasio, mica chiara, biotite, clorite. Tra i componenti accessori si riconoscono: tormalina, zircone, apatite, ilmenite, ossidi di Fe, grafite.

Il *quarzo*, situato principalmente nei letti granoblastici, presenta individui di diverse dimensioni, non allungati, con estinzione ondulata.

Il *plagioclasio*, di composizione albitica, si rinviene in due situazioni: nei letti granoblastici assieme al quarzo, ed è allora spesso geminato; oppure nei letti lepidoblastici, in granuli di più piccole dimensioni, allungati secondo la direzione della scistosità prevalente.

La *muscovite* appare in lamelle sincinematiche orientate con parallelamente alla scistosità S_2 sia nei letti lepidoblastici che in quelli granoblastici, oppure in lamelle postcinematiche, generalmente di maggiori dimensioni, prive di una orientazione preferenziale.

La *biotite*, dal caratteristico pleocroismo giallo-bruno, cristallizza similmente alla muscovite e clorite lungo i piani S_2 , oppure in grossi lepidoblasti postcinematici con orientazione casuale. Analisi alla microsonda elettronica hanno rivelato che la biotite del campione 29b (a differenza di quella del campione 29a), ha contenuti in potassio bassi, indice di una parziale cloritizzazione.

La clorite si può trovare in varie situazioni: a) nei letti granoblastici in lamelle orientate; b) nei letti granoblastici in lamelle non orientate; c) nei letti lepidoblastici in lamelle sincinematiche a sezione rettangolare allungate parallelamente alla scistosità prevalente;

d) in bande (a volte con principi di trasformazione in biotite) ricche di microporfiroblasti di plagioclasio. Inoltre cristallizza staticamente (e) in strutture decussate nelle cerniere di alcune grosse pieghe e (f) in ombre di pressione generate dal "flattening" attorno ai cristalli di ilmenite.

Gli idioblasti di ilmenite generalmente si presentano sia allineati lungo S_2 sia perpendicolarmente ad essa, creando in tal caso delle piccole ombre di pressione dove può cristallizzare la clorite.

Sottogruppo a biotite cloritizzata (52b, 92a)

Anche in questo caso le rocce sono costituite da livelli a prevalente composizione fillosilicatica che si alternano a livelli dove predominano quarzo e feldspati. La struttura è scistoso-ondulata, talora eteroblastica (52b). S_2 è la scistosità prevalente. Tuttavia in alcuni casi, soprattutto nei livelli più micacei, compaiono anisotropie planari lungo le quali si sono distribuiti ossidi di ferro e si sono allineati meccanicamente alcuni zirconi e ilmeniti.

I **componenti principali** sono: quarzo, plagioclasio, muscovite, clorite, biotite cloritizzata. Tra i minerali accessori troviamo: zircone, tormalina, ilmenite, titanite, minerali opachi.

Il *quarzo* si rinviene assieme al plagioclasio nei livelli granoblastici. A volte presenta estinzione ondulata. I limiti intergranulari sono irregolari, a volte seghettati a contatto con piccole lamelle di mica.

L'*albite* si può trovare in tre situazioni: 1) nei letti granoblastici in individui spesso geminati con sviluppo polisintetico (92a); 2) nei letti lepidoblastici, in granuli di diverse dimensioni a volte geminati (a due individui), allungati lungo S_2 (92a, 52b); 3) in granuli di forma ameboide, cresciuti su una matrice a grana fine costituita da miche e clorite (52b).

Lamelle sincinematiche di *muscovite* si dispongono lungo la scistosità prevalente, mentre grossi lepidoblasti di muscovite postcinematica testimoniano uno stadio di cristallizzazione statica successiva a quella sincinematica che ha dato origine alla S_2 . E' possibile inoltre trovare muscovite postcinematica, associata a clorite, in archi poligonali (92a).

Le lamelle con pleocroismo marroncino (52b) fino a giallo (92a) rappresentano una *biotite* cloritizzata.

La *clorite* dal caratteristico pleocroismo verde chiaro si riscontra invece in: a) lamelle sincinematiche a contatto con muscovite nei letti lepidogranoblastici, lungo i fianchi e le cerniere di pieghe (52b); b) lamelle di maggiori dimensioni dall'aspetto più rigido e di

forma più tozza, di probabile cristallizzazione postcinematica (52b); c) piccole lamelle sincinematiche nei feltri micacei in seno ai quali si sono formati i cristalli postcinematici di plagioclasio (52b); d) grosse plaghe di cristallizzazione statica all'interno dei medesimi livelli (a volte a contatto con ilmenite); e) archi poligonali e strutture decussate di cristallizzazione statica in corrispondenza di cerniere di pieghe (92a).

L'ilmenite è spesso alterata in ossidi di Ti. Si trova per lo più disposta parallelamente alla S_2 .

A questo punto è possibile indicare la probabile **evoluzione metamorfico-deformativa** di queste rocce:

- un primo evento deformativo (Def_1) ha determinato la probabile cristallizzazione (Cr_1) di quarzo, clorite, mica chiara, ilmenite, plagioclasio lungo piani S_1 dei quali, nei campioni studiati, non resta più testimonianza in quanto risultano oblitterati dalle deformazioni e blastesi successive;
- un secondo evento deformativo (Def_2) ha sviluppato piani di scistosità S_2 , che ora costituiscono la scistosità prevalente, con diffusa blastesi sincinematica di biotite, muscovite, clorite, quarzo, albite, ilmenite (Cr_2);
- successivamente, uno stadio di cristallizzazione statica (Cr_3) ha permesso la blastesi dei granuli di plagioclasio all'interno dei letti micacei e di lamelle di clorite, biotite, muscovite privi di orientazione preferenziale;
- un terzo evento deformativo ha poi provocato il ripiegamento dei livelli lepidoblastici ed effetti di "flattening" attorno ai cristalli di ilmenite generando, in qualche caso, anisotropie planari. Nelle ombre di pressione cristallizza (Cr_4) clorite, muscovite, quarzo;
- localmente, degli effetti retrogradi hanno prodotto l'alterazione della biotite in clorite e la sericitizzazione dell'albite.

Viste le associazioni mineralogiche, si può concludere che le condizioni termiche per le metapeliti della Pusteria qui considerate rientrano nella zona a biotite della facies degli scisti verdi, talora con effetti retrogradi modesti. La pressione stimata è di circa 3Kb (SASSI & SPIESS, 1993).

6.2.1.3 Gruppi di alta temperatura. (Luson, Val Sarentino)

LUSON (Lu82-9, Lu82-10)

I due campioni rappresentativi delle metapeliti della zona di Luson sono molto simili tra loro per struttura e paragenesi metamorfica. Nelle metapeliti di Luson la matrice è caratterizzata da una componente a grana finissima (principalmente sericite), non analizzabile otticamente, e da una componente a grana maggiore nella quale le

lamelle di clorite e quelle di muscovite posseggono dimensioni non inferiori a 100µm. I granati, invece, possono raggiungere dimensioni massime di 1.5mm.

Livelli essenzialmente lepidoblastici si alternano a livelli lepidogranoblastici o più prettamente granoblastici in queste rocce. La struttura è scistoso-piegheata, per il ripiegamento dei piani di scistosità S_1 . Sono presenti anche anisotropie planari S_2 , specie nei letti fillosilicatici, lungo le quali si nota allineamento di ilmeniti e cristallizzazione di muscovite. Scie opacitiche si dispongono sia lungo S_1 che S_2 .

I **componenti mineralogici** principali sono: mica chiara, quarzo, plagioclasio, clorite, biotite, granato. Tra gli accessori troviamo: zircone, tormalina, ilmenite, apatite, sostanze carboniose e minerali opachi.

La *mica chiara* costituisce la massa di fondo sotto forma di sericite, oppure cristallizza in lamelle più grandi allungate lungo la S principale. Muscovite statica si rinviene in archi poligonali o in lamelle non orientate.

Il *quarzo* è il componente principale dei letti granoblastici, nei quali si presenta in individui con estinzione ondulata. Può inoltre formare piccole lenti all'interno dei livelli lepidoblastici.

Il *plagioclasio* si rinviene in granoblasti all'interno dei letti granoblastici. Sono stati notati individui con geminazione polisintetica ed individui zonati. L'analisi alla microsonda elettronica ha dimostrato che a volte la composizione è oligoclasica.

La *clorite* si rinviene in lamelle idiomorfe, subrettangolari, non deformate con direzione di allungamento parallela a quella della S_2 . Può cristallizzare staticamente, assieme alla muscovite, in archi poligonali o strutture decussate sulle cerniere di pieghe. Inoltre, a volte può costituire il prodotto di alterazione tardiva di biotite.

La *biotite* si rinviene in piccole lamelle parallele alla scistosità principale, oppure in grandi lepidoblasti postcinematici che contengono al loro interno piccoli inclusi di quarzo e scie opacitiche aventi la stessa orientazione della scistosità esterna. La biotite a contatto con ilmenite e con granato è spesso alterata in clorite.

Il *granato* appare in cristalli isodiametrici a sezione pseudoesagonale, oppure in individui allungati lungo S_2 con scie di inclusioni di piccoli granuli di quarzo, ilmeniti e sostanza opacitica parallele alla scistosità esterna. Attorno ai granati si notano effetti di "flattening" dovuti al ripiegamento dei piani S_2 .

L'analisi microstrutturale ha permesso di ricostruire per le metapeliti di Lusón la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- un primo evento deformativo (Def_1) ha determinato la cristallizzazione (Cr_1) di clorite, biotite, ilmenite e muscovite (oltre che verosimilmente di albite e quarzo) lungo piani di

scistosità S_1 ;

successivamente si è avuta la formazione del granato (Cr_2) i cui porfiroblasti includono scie di inclusioni riconducibili a S_1 ;

- un secondo evento deformativo (Def_2) ha provocato il pieghettamento della S_1 ;
- in seguito, sono cristallizzati i bordi dei porfiroblasti di granato (Cr_3) e grossi lepidoblasti di biotite e di muscovite senza una orientazione preferenziale, o mimeticamente orientati lungo i piani S_2 ;
- infine si è verificata una fase retrograda con modesta cloritizzazione di granato e di biotite.

Da un punto di vista geotermometrico, la presenza di granato almandino indica che l'evento metamorfico che ha coinvolto queste rocce è avvenuto in condizioni termiche corrispondenti alla zona dell'almandino della facies degli scisti verdi. Va precisato tuttavia che la clorite che si rinviene lungo i letti lepidoblastici molto probabilmente è riferibile ad un evento metamorfico che si è sviluppato a temperature inferiori (zona a biotite della facies degli scisti verdi).

La pressione, riconducibile a quella stimata per il Basamento Sudalpino delle Alpi Orientali (SASSI & SPIESS, 1993) è di circa 3Kb.

VAL SARENTINO (28R, 90, 94)

Le metapeliti della Val Sarentino presentano un grado di ricristallizzazione elevato se si considera la granulometria della loro matrice. Miche e cloriti mediamente hanno dimensioni che si aggirano sui 100 μ m. I granati possono raggiungere dimensioni di mezzo centimetro (28R).

In queste rocce livelli lepidoblastici costituiti soprattutto da miche e clorite si alternano a livelli granoblastici quarzoso-albitici, formando bande con spessori che variano dall'ordine del centimetro (28R) al decimo di mm (90). La struttura, inoltre, è eteroblastica, per la presenza di grossi cristalli di granato e plagioclasio, oltre che scistoso-piana fino a scistoso-ondulata. La scistosità prevalente S_2 avviluppa i cristalli di granato, di plagioclasio e di ilmenite. In alcuni casi (28R), è ancora evidente la vecchia scistosità S_1 sotto forma di pieghe senza radice.

I costituenti mineralogici fondamentali, in quantità variabili, sono: quarzo, plagioclasio, mica chiara, clorite, biotite, granato.

Tra i minerali accessori troviamo: ilmenite, zircone, tormalina, minerali opachi (ematite), sostanza carboniosa.

Il quarzo rappresenta il componente principale dei letti granoblastici, dove cristallizza in

individui di diverse dimensioni con limiti intergranulari generalmente rettilinei. Frequentemente forma lenti poligranulari con limiti intergranulari irregolari e con estinzione ondulata. Cristalli con le stesse caratteristiche si ritrovano, inoltre, nelle ombre di pressione del granato. Nei letti lepidoblastici i granuli di quarzo hanno una forma appiattita ed allungata secondo la scistosità prevalente.

Il *plagioclasio*, di composizione albitica, si rinviene nei letti granoblastici assieme al quarzo, in granuli non alterati. Nei letti lepidoblastici è presente invece una generazione di plagioclasio che si accresce a spese delle miche, formando plaghe peciloblastiche allungate in direzione della S_2 . Spesso contiene, come inclusioni, sostanze opacitiche e carboniose che formano delle scie interne (S_i) concordanti (campione 28R) con la scistosità esterna (S_e).

La *mica chiara* costituisce, assieme alla clorite, i letti lepidoblastici presentandosi in lamelle sincinematiche di muscovite o localmente come sericite. Lepidoblasti tozzi di maggiori dimensioni testimoniano invece una successiva fase di cristallizzazione statica, durante la quale la muscovite si è accresciuta senza una orientazione preferenziale, oppure mimeticamente in cristalli paralleli alla scistosità prevalente. A volte, in questi cristalli postcinematici sono presenti scie di inclusioni di sostanze carboniose, che hanno andamento concorde con la scistosità esterna. Infine piccole lamelle di muscovite possono trovarsi come inclusi nei granati.

La *clorite* cristallizza principalmente in lamelle sincinematiche lungo S_2 e lungo le pieghe relitte della vecchia scistosità S_1 (28R). Si trova anche nei letti granoblastici in piccole lamelle più o meno orientate. La clorite statica cristallizza invece nelle ombre di pressione di granati ed, in minor misura, di ilmeniti. Costituisce, inoltre, il prodotto di alterazione di biotite e di granato.

La *biotite*, presente solo nel campione 28R, cristallizza in piccole lamelle sincinematiche parallele a S_2 , oppure in grossi lepidoblasti postcinematici con orientazione casuale, oppure ancora mimeticamente allungati lungo la scistosità principale. Le scie di inclusioni, formate da sostanze opacitiche, dimostrano nella maggior parte dei casi la cristallizzazione postcinematica della biotite.

Il *granato* si presenta in porfiroblasti isodiametrici a volte con forma scheletrica (28R). I numerosi inclusi (quarzo, albite, muscovite, ilmenite, tormalina) si trovano allineati o parallelamente alla scistosità esterna (28R) oppure perpendicolarmente ad essa (90, 94). Il vistoso effetto di "flattening" attorno a tali porfiroblasti è accompagnato da cristallizzazione di clorite, quarzo e albite nelle ombre di pressione. Lungo i margini e nelle fratture dei granati, invece, si nota alterazione di natura retrograda in clorite, che a

volte può spingersi fino ad una completa pseudomorfosi della clorite sul granato.

L'*ilmenite*, in cristalli prismatici lamellari spesso alterati, può disporsi lungo la scistosità oppure trasversalmente ad essa, mostrando in quest'ultimo effetti di "flattening" e cristallizzazione di clorite nelle ombre di pressione.

In seguito a queste osservazioni, l'**evoluzione metamorfico-deformativa** può essere così descritta:

- un primo evento deformativo Def_1 ha portato alla cristallizzazione (Cr_1) di clorite, mica chiara, quarzo, plagioclasio lungo i piani di scistosità S_1 che in alcuni casi (28R) sono ancora visibili sotto forma di pieghe relitte senza radici;
- un secondo evento deformativo (Def_2) ha provocato il ripiegamento della S_1 e l'instaurarsi di nuove anisotropie planari S_2 che ora costituiscono la scistosità prevalente. Questo atto deformativo è stato accompagnato dalla cristallizzazione sincinemica (Cr_2) di clorite, muscovite, biotite, plagioclasio, quarzo, ilmenite e di granato;
- la successiva fase statica Cr_3 ha determinato la cristallizzazione di plagioclasio a spese della mica, nonché la crescita di biotite e muscovite in grossi lepidoblasti postcinematici, di clorite priva di orientazione e l'ulteriore accrescimento dei granati. Questa fase rappresenta il culmine termico del metamorfismo;
- la terza deformazione (Def_3) ha determinato effetti di "flattening" attorno ai porfiroblasti di granato e a quelli di plagioclasio, in concomitanza delle quali si è avuta cristallizzazione statica (Cr_4) di quarzo, albite, clorite nelle ombre di pressione;
- infine, un evento retrogrado ha determinato l'alterazione di biotite e granato in clorite.

Dallo studio delle compatibilità mineralogiche si può ritenere che le metapeliti del Sarentino abbiano subito un metamorfismo in facies degli scisti verdi, zona a granato almandino ed una successiva debole sovrimpronta retrograda. La pressione stimata per questa ed altre aree del Basamento Sudalpino delle Alpi Orientali è di circa 3Kb (SASSI & SPIESS, 1993, e letteratura pertinente in esso citata).

6.2.2 Le metabasiti

Per lo studio delle cloriti di metabasiti metamorfosate in condizioni di bassa pressione sono stati considerati 14 campioni provenienti dalle seguenti località: Dobbiaco, Recoaro, Calceranica-Vetriolo, Rodengo, Dosso Caldo delle Felci. Questi corpi basici affiorano tutti nel basamento metamorfico sudalpino. Le metabasiti di Dobbiaco, quella di Dosso Caldo delle Felci e quella di Calceranica-Vetriolo possono essere riferiti, per la relativa vicinanza ai porfiroidi, al Complesso Vulcano-Sedimentario (VSC) del

basamento stesso. Anche le metabasiti di Recoaro, trovandosi intercalate nella parte più bassa del complesso filladico superiore (UPC), potrebbero avere analoga collocazione. Incerta è la posizione delle anfiboliti di Rodengo.

Va precisato che qui il termine metabasite va utilizzato solo dal punto di vista compositivo, senza implicazione alcuna sulla natura, ignea o sedimentaria (per esempio vulcanoclastica), del protolito.

6.2.2.1 Gruppi di bassa temperatura (Dobbiaco, Recoaro, Calceranica-Vetriolo)

DOBBIACO (D1, D3, D4)

La struttura di questi cloritoscisti si può definire granoblastica eteroblastica, per la presenza di grossi cristalli di plagioclasio su una massa di fondo minuta. Livelli essenzialmente lepidoblastici costituiti in gran parte da clorite (D1, D3) oppure da clorite e mica chiara (D4), si alternano a livelli grano-lepidoblastici formati da quarzo, albite, lamelle di mica e clorite, ed a livelli costituiti da microgranuli opachi quali ossidi di ferro (ematite e magnetite) (D1, D3) oppure ilmenite (D4).

La struttura può variare da scistoso-piana, localmente micro-occhiadina (D1, D3), a scistoso-ondulata fino a pieghettata (D4). L'anisotropia planare prevalente è costituita da piani S_1 .

Nel campione D4 è visibile un aggregato di plagioclasti geminati non orientati con una tipica struttura microporfirica, interpretabile come un clasto vulcanico relitto.

I **componenti mineralogici** principali sono: clorite, mica chiara, quarzo, plagioclasio, minerali opachi, epidoto.

La *clorite* costituisce da sola gran parte dei letti lepidoblastici che individuano la scistosità S_1 , presentandosi in plaghe oppure in scaglie di piccole dimensioni dal pleocroismo verde pallido - verde scuro. Piccole lamelle di clorite allineate lungo S_1 si rinvencono inoltre nei letti granoblastici. Infine la clorite può cristallizzare nelle ombre di pressione dei plagioclasti. Il colore di interferenza anomalo è sui toni del marrone.

I *plagioclasti* si presentano in peciloblasti (D1, D4) dai contorni sfrangiati nella matrice di fondo, spesso geminati ed alterati in sericite, oppure in cristalli idiomorfi (D4), geminati. L'orientazione può essere sia parallela alla S_1 che trasversale ad essa; in quest'ultimo caso, compaiono effetti di flattening, con cristallizzazione di clorite nelle ombre di pressione.

La *mica chiara* risulta particolarmente abbondante nel campione D4. In D3 si concentra, invece, solo in alcuni livelli. E' quasi assente, invece, in D1. Generalmente si presenta in lamelle sincinematiche incolori associate a clorite, che si dispongono a formare la

scistosità prevalente S_1 . Inoltre, come sericite, rappresenta il frequente prodotto di alterazione dei plagioclasti.

Il *quarzo* forma livelli dove può apparire in granuli di diverse dimensioni spesso associato a clorite.

L'*epidoto* si rinviene in piccolissimi cristalli nei livelli sia granoblastici che lepidoblastici.

Gli *opachi* presenti nei campioni D1e D3, di forma cubica, sono disposti in sottili livelli paralleli alla scistosità (magnetite). E' presente inoltre ematite riconoscibile dalla colorazione rosso intenso. Nel campione D4 i minerali opachi si presentano come piccoli idioblasti tabulari di ilmenite e granuli di sostanza carboniosa.

La calcite forma venette o plaghe nel campione D4.

Dalle osservazioni microstrutturali e delle compatibilità mineralogiche si desume la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- una prima deformazione (Def_1) ha determinato la cristallizzazione sincinemica di clorite, mica, quarzo, opachi lungo i piani S_1 , che ora costituiscono la scistosità prevalente;
- una seconda deformazione (Def_2) ha provocato il ripiegamento dei piani di scistosità, dando anche luogo ad effetti di flattening attorno ai grossi cristalli di plagioclasio. Localmente (D4) questa deformazione ha determinato un ripiegamento più marcato dei letti lepidoblastici, dando origine a pieghe più strette. Contemporaneamente si è avuta una cristallizzazione statica di clorite nelle ombre di pressione del plagioclasio.

Per quanto riguarda le condizioni termiche del metamorfismo, l'associazione clorite + epidoto + albite ci fa ritenere che ci si trovi nella zona di più bassa temperatura della facies degli scisti verdi, e più precisamente nella zona clorite-actinolite. La pressione stimata è di circa 3Kb (SASSI & SPIESS, 1993).

RECOARO (REC2, REC3, REC4, REC6)

La struttura di queste metabasiti, sempre scistoso-piana, si può definire cristalloblastica eteroblastica per la presenza di idioblasti di magnetite di notevoli dimensioni e di plagioclasio.

I **costituenti mineralogici** principali sono: clorite, albite, quarzo, mica chiara, epidoto. I minerali accessori sono: magnetite, ematite, apatite, titanite, zircone, calcite, ilmenite (Rec4), blenda, galena.

La *clorite*, dal pleocroismo giallo pallido - verde marcato e dai colori di interferenza anomali sui toni del marrone, è il minerale scistogeno principale. All'interno dei livelli

cloritici e parallelamente alla scistosità prevalente possono trovarsi numerosi livelletti continui di microgranuli di ossidi di titanio. A volte sono visibili livelletti pleocroici giallo-bruni che tuttavia, ad un'analisi in microsonda elettronica, dimostrano di non contenere potassio. La clorite, inoltre, può cristallizzare nei letti lepidoblastici, in lamelle con orientazione trasversale rispetto alla S_1 ; in plaghe assieme ad ematite; in lamelle orientate all'interno dei livelli granoblastici; in ombre di pressione intorno ai cristalli di magnetite. In quest'ultimo caso spesso si presenta in lamelle deformate e con estinzione ondulata.

Il *quarzo* costituisce i livelli granoblastici assieme all'albite. Si può trovare in tre situazioni: in granuli allotriomorfi, di piccole dimensioni, leggermente allungati e con estinzione ondulata; in lenti policristalline monomineraliche costituite da granuli di maggiori dimensioni con limiti intergranulari irregolari ed estinzione ondulata; in singoli individui all'interno dei livelli lepidoblastici, con forma allungata nella direzione di S_1 .

Il *plagioclasio*, di composizione albitica, è presente in blasti allungati ed orientati parallelamente alla scistosità prevalente. A volte altera in sericite.

Gli *epidoti* sono molto diffusi, soprattutto all'interno dei livelli lepidoblastici. Possono costituire sciami formati da individui di diverse dimensioni.

La *mica chiara* appare in lamelle sincinematiche di piccole dimensioni, sempre associate alla clorite ed orientate in direzione parallela alla scistosità. Analisi alla microsonda elettronica hanno consentito di riconoscere composizioni ricche in phengite.

La *magnetite* è presente sotto forma di vistosi idioblasti che spesso formano ombre di pressione dove cristallizza clorite e quarzo.

Nel campione Rec4 è stato rinvenuto un grande idioblasto tabulare di *ilmenite* spezzato con bordi molto alterati e sfrangiati.

Il campione Rec4 contiene *calcite*, sotto forma di plaghe nei letti granoblastici.

L'evoluzione metamorfico-deformativa che si può ricostruire per queste rocce si articola in:

- un primo evento metamorfico ($Def_1 = Cr_1$) con cristallizzazione sincinematica di clorite, quarzo, plagioclasio lungo piani di scistosità S_1 ;
- un secondo evento deformativo (Def_2) che ha provocato effetti di flattening attorno agli idioblasti di magnetite; contemporanea cristallizzazione Cr_2 statica di clorite e quarzo nelle ombre di pressione.

L'associazione mineralogica osservata in queste rocce (quarzo, albite, mica chiara, clorite, epidoto) è tipica della zona di più bassa temperatura della facies degli scisti verdi

(zona a clorite-actinolite). La presenza però di porfiroblasti di albite con bordo oligoclasico e di biotite statica nelle filladi intercalate fa presupporre che, ad un certo punto della storia evolutiva, si sia potuto avere un innalzamento della temperatura fino a raggiungere in esse le condizioni termiche della zona a biotite. La pressione stimata per quest'area, come per tutto il basamento metamorfico sudalpino delle Alpi Orientali, è di circa 3Kb con un gradiente termico di 40°C (SASSI & SPIESS, 1993).

CALCERANICA-VETRIOLO (CV532, CV17b)

Trattasi di cloritoscisti, che compaiono come lenti intercalate nelle filladi e sono caratterizzate dalla presenza di mineralizzazioni a solfuri concordanti con la scistosità. La struttura, data dall'alternarsi di letti lepidoblastici essenzialmente cloritici con letti granoblastici prevalentemente quarzosi, è scistoso-piana. La componente lepidoblastica è presente in misura grosso modo uguale alla componente granoblastica. E' presente una sola scistosità S_1 , parallelamente alla quale si rinvencono sia livelli mineralizzati a pirite, sia (CV517b) livelletti di ossidi e idrossidi di ferro.

I **componenti mineralogici** principali sono: clorite, quarzo, pirite. Tra i componenti accessori si rinvencono: ematite (CV532), ossidi e idrossidi di ferro, zirconio.

La *clorite* è presente nei seguenti contesti microstrutturali: a) lamelle sincinematiche disposte parallelamente alla S_1 a formare i livelli lepidoblastici; b) lamelle statiche con orientazione trasversale rispetto alla S_1 all'interno dei livelli granoblastici; c) lamelle cristallizzate nei livelli granoblastici prive di orientazione preferenziale. In tutti e quattro questi casi, la clorite è caratterizzata da un evidente pleocroismo verde chiaro - verde scuro, con colori di interferenza anomali sui toni del blu - viola. Talora (CV517b) la clorite può essere ricoperta da patine di ossidi e idrossidi di ferro.

Il *quarzo* è il principale componente dei livelli granoblastici dove cristallizza in granuli di diverse dimensioni, per lo più isodiametrici, talvolta allungati parallelamente a S_1 . Presenta sempre estinzione ondulata.

La *pirite*, in idioblasti cubici, si concentra prevalentemente nei letti cloritici dove forma livelletti paralleli alla S_1 . A volte (CV517b) presenta alterazione, anche spinta, in idrossido di ferro.

Da considerazioni mineralogiche e microstrutturali è possibile ricostruire la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**, che prescinde però da una dettagliata considerazione sulle modalità e tempi di formazione delle mineralizzazioni a pirite:

- un primo evento deformativo Def_1 ha comportato la cristallizzazione sincinematica Cr_1 di clorite e quarzo lungo i piani di scistosità S_1 ;

- successivamente una fase statica ha determinato la crescita di clorite in lamelle prive di orientazione preferenziale e di idioblasti di pirite.

Lo studio delle compatibilità mineralogiche in questi campioni non permette di fare deduzioni sulle condizioni termiche del metamorfismo. Tuttavia è noto che nelle metapeliti incassanti compare la biotite, indicando temperature relative alla zona a biotite della *facies* degli scisti verdi. La pressione stimata è di circa 3Kb (SASSI & ZIRPOLI, 1993).

6.2.2.2 Gruppi di alta temperatura (Rodengo, Dosso Caldo delle Felci)

RODENGO (Ro1, Ro2)

Questi campioni presentano una struttura eteroblastica porfiroblastica data dalla presenza di grossi cristalli di anfibolo con orientazione casuale e nematoblasti di anfibolo cristallizzati secondo un direzione preferenziale. L'abbondante titanite presente appare molto alterata.

I **componenti mineralogici** principali sono: anfibolo, plagioclasio, epidoto, clorite. Come accessori sono presenti: quarzo, titanite, sericite, minerali opachi.

L'*anfibolo* si rinviene in due situazioni:

- a) in fenoblasti privi di orientazione preferenziale, nei quali si distingue: (i) un nucleo con pleocroismo giallo pallido - incolore - verde chiaro di composizione tremolitico-actinolitica; (ii) un sottile bordo dal pleocroismo più marcato (giallo pallido - verde chiaro - verde azzurro) tipico dell'orneblenda, come è stato confermato dalle analisi in microsonda elettronica;
- b) in nematoblasti cristallizzati secondo una direzione preferenziale e caratterizzati dal pleocroismo tipico dell'orneblenda.

Il *plagioclasio* forma delle lenti granoblastiche costituite da individui fortemente alterati in sericite. L'analisi in microsonda elettronica ha confermato, per questi granuli, una composizione albitica. Possono trovarsi, inoltre, granuli isolati di plagioclasio, non alterati, la cui analisi in microsonda elettronica ha rivelato essere relativamente ricchi in calcio (oligoclasio - andesina).

La *clorite* appare in diverse situazioni: a) in lamelle a contatto con orneblenda, caratterizzate da colori di interferenza grigi; b) in livelletti contenenti numerose inclusioni di granuli di titanite, e caratterizzati da colori di interferenza marrone oppure blu. La clorite a) e quella b) possono trovarsi concresciute.

Gli *epidoti* cristallizzano in piccoli individui di zoisite o clinozoisite.

L'evoluzione metamorfico-deformativa può essere così descritta:

- una prima fase deformativa Def₁ fu accompagnata da cristallizzazione Cr₁ di albite, epidoto, actinolite ;
- una seconda fase di cristallizzazione Cr₂, concomitante alla deformazione Def₂ determinò la crescita di un bordo di orneblenda attorno ai nuclei attinolitici, nonché la cristallizzazione con direzione preferenziale di orneblenda, di titanite, di biotite e di plagioclasio;
- una terza fase deformativa Def₃ ha provocato deformazioni postcristalline registrate nei cristalli di anfibolo con incurvamento e fratturazione dei nematoblasti.

In concomitanza con queste deformazioni si è verificata una blastesi Cr₃ retrograda che ha anche comportato la cristallizzazione di clorite.

Dall'osservazione delle compatibilità mineralogiche, risulta evidente che il metamorfismo che ha coinvolto le metabasiti di Rodengo ha raggiunto temperature corrispondenti al limite tra facies degli scisti verdi e facies anfibolitica. E' tuttavia registrata una modesta sovrimpronta retrograda. Dal punto di vista barico il metamorfismo delle rocce di quest'area, così come in tutto il Basamento Sudalpino delle Alpi Orientali (SASSI & SPIESS, 1993), è avvenuto in condizioni di bassa pressione (circa 3 Kb).

DOSSO CALDO DELLE FELCI (VD61, VD62, VD68)

Questo corpo basico, posto tra due banchi di porfiroidi in Val Sarentino, è caratterizzato dalla presenza di anfiboliti con diversa grana e struttura. Più precisamente, procedendo dal basso verso l'alto si riconoscono: 1) anfiboliti scistose a grana minuta; 2) anfiboliti scistose a grana media; 3) anfiboliti a grana grossa prive di piani di scistosità. Dei tre campioni studiati, uno appartiene al primo gruppo, gli altri due al terzo gruppo.

Anfiboliti a grana minuta (VD68)

Presentano struttura eteroblastica porfiroblastica per la presenza di porfiroblasti di anfibolo che risaltano su una matrice di fondo a grana più fine. La tessitura scistosa è piana, localmente ondulata.

I **componenti mineralogici** principali sono: anfibolo, plagioclasio, epidoto, clorite. Come accessori troviamo: quarzo, titanite, sericite, minerali opachi.

L'*anfibolo* è presente nelle seguenti situazioni:

- a) come porfiroblasti (di dimensioni comunque non superiori al millimetro) non orientati, attorno ai quali si può avere un incurvamento dei piani di scistosità; questi anfiboli possiedono un nucleo tremolitico-actinolitico con debole pleocroismo (giallo pallido - incolore - verde chiaro) ed un bordo di orneblenda, con pleocroismo marcato

(giallo pallido - verde chiaro - verde azzurro).

b) come nematoblasti, spesso concresciuti, che vanno a costituire la massa di fondo ed individuano la scistosità prevalente. I nematoblasti di più grandi dimensioni possono avere anch'essi nucleo quasi incolore e periferia di colore verde intenso, mentre quelli di minori dimensioni non presentano zonature e risultano costituiti interamente da orneblenda, come dimostrato da analisi in microsonda.

Il *plagioclasio*, di composizione albitica, costituisce lenti granoblastiche intercalate ai livelli nematoblastici. Si presenta in piccoli granuli non geminati e spesso alterati in sericite.

Gli *epidoti* formano sciami localizzati soprattutto all'interno delle lenti granoblastiche. Dai colori di interferenza anomali (grigio blu con chiazze giallo-rosse) e dalla estinzione inclinata si può ritenere che si tratti di clinozoisite.

La *clorite* è presente in lamelle sincinematiche dal debole pleocroismo (giallo pallido - verde pallido), localizzata nella massa di fondo insieme all'anfibolo. Il colore d'interferenza anomalo è sui toni del grigio.

Sono presenti, inoltre, locali lamelle biotitiche.

Il *quarzo*, poco abbondante, si rinviene nelle lenti granoblastiche assieme al plagioclasio. Ha estinzione ondulata. Può assumere forma allungata in direzione della scistosità.

Minerali opachi e minerali semiopachi dall'aspetto terroso (titanite) sono molto diffusi anche nel nucleo degli anfiboli.

Anfiboliti a grana grossa (VD61, VD62)

Queste rocce hanno una struttura grano-nematoblastica priva o quasi di anisotropie planari, e sono caratterizzate dalla presenza di grossi cristalli di anfibolo e di plagioclasio.

I **componenti mineralogici** principali sono: anfibolo, plagioclasio, epidoto. Sono presenti in quantità accessoria: clorite, titanite, apatite, zircone, opachi.

Gli *anfiboli* si presentano in cristalli isolati di grandi dimensioni (fino a 20 mm) a volte geminati e in fasci di nematoblasti di minori dimensioni. A volte (VD61) gli anfiboli possono essere deformati e presentare minerali opachi lungo gli interstizi. Si riconoscono:

a) grossi blasti con nucleo incolore tremolitico-actinolitico (pleocroismo giallo pallido - incolore - verde chiaro) e periferia verde intenso (pleocroismo giallo pallido - verde chiaro - verde azzurro, caratteristico dell'orneblenda).

b) grossi blasti con nucleo bruno, periferia più interna actinolitica e periferia più esterna formata da orneblenda;

c) blasti prismatici, tozzi, interamente di orneblenda;

d) *nematoblasti* interamente di *orneblenda*

e) piccoli cristalli aciculari di *anfibolo* lungo i bordi sfrangiati dei grossi *blasti* a) e b), con debole *pleocroismo* sul verde chiaro.

Il *plagioclasio*, di composizione albitica, è presente in granuli allotriomorfi geminati polisinteticamente secondo la legge dell'albite. Comune è la localizzazione di *microblasti epidotici* lungo i bordi.

L'*epidoto* (*clinozoisite*) è abbondantemente diffuso in cristalli con abito prismatico. Ha colori di interferenza anomali grigio-azzurro con chiazze gialle e rosse.

La *clorite* si rinviene in lamelle di notevole dimensione di due diversi tipi:

a) *lepidoblasti* con *pleocroismo* giallo pallido-verde pallido e colori di interferenza anomali sui toni del grigio; queste lamelle, prive di inclusioni opache, sono associate per lo più all'*anfibolo*;

b) *blasti* con *pleocroismo* ancora più debole e colori di interferenza anomali sui toni del marrone, presenti in plaghe che includono cristalli di *titanite*, preferenzialmente localizzati nei feltri sericitici che derivano dall'alterazione dei *plagioclasti*;

c) rare piccole lamelle di *clorite* che si differenziano per i colori di interferenza anomali blu.

Come già verificato nelle *metapeliti* della medesima area (*metapeliti* del Sarentino), il *metamorfismo* che ha interessato le *metabasiti* di Dosso Caldo delle Felci si è sviluppato in più fasi. Tuttavia va precisato che le *anfiboliti*, e soprattutto quelle a grana grossa, registrano con minor dettaglio che le *metapeliti* gli effetti di stadi *metamorfico-deformativi* sovrimposti. Comunque, unendo le informazioni ottenute dalle *anfiboliti* a grana minuta a quelle ottenute dalle *anfiboliti* a grana grossa, è evidente una **evoluzione metamorfico-deformativa** almeno bistadiale:

- un primo stadio $Cr_1=Def_1$ avrebbe determinato la scistosità e la cristallizzazione di albite, actinolite, clorite, epidoto;
- un secondo stadio Cr_2 di più alta temperatura avrebbe determinato la cristallizzazione di *orneblenda*.

L'associazione mineralogica, data da *orneblenda*, *plagioclasio*, *epidoto*, *clorite* indica che il *metamorfismo* ha raggiunto le condizioni di più alta temperatura della facies degli scisti verdi, e precisamente la cosiddetta facies ad *orneblenda+albite*. Ciò è congruente con l'appartenenza alla zona dell'almandino delle *metapeliti* e dei porfiroidi associati a queste *anfiboliti*. La pressione è stata stimata a circa 3-4Kb per gradienti termici di 35-40°C/Km (CARDIN et al., 1985).

6.2.3 Le metarioliti

Sono stati studiati 10 campioni di metarioliti riconducibili a quattro diversi gruppi provenienti dalle seguenti località; Comelico, Levico, Cima d'Arzon, Val Sarentino. Queste metarioliti che affiorano nel Basamento Sudalpino delle Alpi Orientali, fanno parte della sequenza di metavulcaniti che vanno a costituire il Complesso - Vulcano - Sedimentario (VSC) del basamento stesso.

6.2.3.1 Gruppo di bassa temperatura

COMELICO (CM085, CM034, CM101)

I campioni che provengono da questa zona sono caratterizzati dalla presenza di una matrice micro-granoblastica con basso grado di ricristallizzazione e grana minutissima (lamelle di mica chiara mediamente di 100 μm di lunghezza e 10 μm di larghezza, sulla quale spiccano porfiroclasti relitti di fenocristalli dei protoliti magmatici quali quarzo, K-feldspato, albite e biotite.

Le rocce sono costituite dall'alternanza di prevalenti letti microgranoblastici costituiti da quarzo ed albite, con sottili letti lepidoblastici costituiti da sericite e clorite. La struttura è scistoso-piana (CM101 CM085) o scistoso-pieghettata (CM034). In tutti i campioni la struttura può essere considerata inoltre eteroblastica, per la tipica bimodalità granulometrica.

La scistosità prevalente risulta essere la S_1 , definita dall'isoorientazione di mica e clorite nei letti lepidoblastici. Attorno ai relitti di fenocristalli magmatici si possono avere effetti di leggero "flattening", con incurvamento dei livelli scistosi e cristallizzazione, nelle ombre di pressione, principalmente di quarzo microgranulare.

Per questi campioni si può ricostruire una **paragenesi premetamorfica** costituita da: quarzo, Kfeldspato, albite, biotite, apatite, zircone (CM085, CM034); quarzo, albite, biotite, apatite, zircone (CM101). Per tutti invece la **paragenesi metamorfica** può essere ricondotta a : quarzo, albite, talora a scacchiera, microclino, sericite, minerali opachi, clorite, calcite.

I relitti di *quarzo*, dalle forme spigolose, presentano tipiche anse di corrosione, con cristallizzazione al loro interno di quarzo microgranulare e talora calcite. Quarzo e calcite possono anche cristallizzare nelle ombre di pressione createsi attorno a tali relitti di fenocristalli. La deformazione subita è testimoniata specialmente nel quarzo dall'estinzione ondulata. Il *quarzo metamorfico*, che costituisce assieme all'albite i letti granoblastici, si presenta invece in microblasti spesso allungati i direzione della scistosità principale, con contatti tra granuli irregolari e con estinzione ondulata.

I relitti di *K-feldspato* (CM034, CM085) presentano spesso geminazioni (tipo Karlsbad) ed intesa sericitizzazione. Essi presentano una ricristallizzazione modesta, con formazione di bordi microclinici. Sono evidenti, inoltre, oltre a smescolamenti micropertitici, anche associazioni pertitiche a chiazze.

L'*albite* è presente sia come porfiroclasti relitti dei fenocristalli ignei, che come granuli metamorfici. I primi sono spesso geminati polisinteticamente o a due individui (CM034), in parte sericitizzati. I secondi sono rappresentati da albite micro-granoblastica, da bordi albitici sui porfiroclasti sopracitati, e da albite a scacchiera. Anche per l'albite a scacchiera (CM034) è stata ipotizzata un'origine per sostituzione sodica progressiva di originario K di feldspato (forse sanidino). Nei porfiroidi del Comelico l'albite a scacchiera è spesso associata a calcite, mentre manca totalmente l'epidoto. Si può quindi ipotizzare, per questi campioni, una maggiore f_{O_2} rispetto ai porfiroidi di Levico, Cima d'Arzon, Val Sarentino (MELI, 1995).

I relitti di *biotite* di origine magmatica appaiono, nei campioni in esame, completamente sostituiti da aggregati di clorite, ai bordi dei quali si concentrano microgranuli di ilmenite e di altri minerali opachi. In alcuni casi restano all'interno di tali pseudomorfi, chiazze pleocroiche a toni brunastri.

La *clorite* può avere una origine sia blastica che deuterica. Nel primo caso si rinviene in lamelle di piccole dimensioni cristallizzate sincinematicamente assieme alla sericite a formare i piani di anisotropia principale. La clorite che sostituisce i relitti di biotite, invece, si presenta spesso associata a ilmenite e rutilo. Questo fatto porta a ritenere che l'alterazione della biotite in clorite sia contemporanea all'evento blastico che ha determinato la scistosità principale. A volte (CM101) la clorite che sostituisce i relitti di biotite è associata a lamelline di mica chiara.

La *calcite* è diffusa in tutti i campioni sotto forma di plaghette oppure in piccole vene. Spesso è associata all'albite a scacchiera.

Microgranuli di ilmenite e rutilo si concentrano prevalentemente negli aggregati cloritici formati per alterazione di biotite di origine premetamorfica ma si possono anche trovare livelletti abbastanza estesi di ilmenite e magnetite paralleli alla scistosità. Tra i minerali opachi si distinguono inoltre alcuni individui che potrebbero avere una origine premetamorfica in quanto presentano effetti di "flattening" ai loro bordi analoghi a quelli riscontrati per gli altri relitti magmatici. Tra gli accessori si notano poi apatite e zirconio in cristalli le cui dimensioni, decisamente maggiori a quelle della pasta di fondo microblastica, fanno supporre una origine premetamorfica. Nel campione CM101 è stato notato un cristallo di zirconio incluso in un cristallo di apatite.

Le osservazioni fin qui fatte permettono di ricostruire, per queste rocce, la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- un primo evento blastico Cr₁ contemporaneo alla deformazione Def₁ ha determinato la cristallizzazione di quarzo, albite, sericite, clorite, minerali opachi lungo piani di scistosità S₁. Durante questa fase è cristallizzata anche la clorite derivata dall'alterazione dei relitti di biotite: infatti l'orientazione delle sue lamelle risulta parallela alla scistosità prevalente. La Def₁ ha determinato anche il ripiegamento dei livelli scistogeni attorno ai porfiroclasti determinando leggeri effetti di "flattening", con concomitanti modeste cristallizzazioni in ombre di pressione;
- una seconda deformazione Def₂ ha comportato il ripiegamento della S₁ senza tuttavia instaurare nuove scistosità.

Per le considerazioni geotermometriche ci si deve riferire allo studio delle associazioni mineralogiche ed alla comparazione con le metapeliti sottostanti. La presenza di abbondante clorite non accompagnata da cristallizzazione di biotite e granato almandino fa ritenere che tali rocce abbiano raggiunto temperature corrispondenti alla zona della clorite della facies degli scisti verdi. Le condizioni bariche possono invece essere riferite a quelle stimate per l'intero basamento sudalpino delle Alpi Orientali (SASSI & SPIESS, 1993), di circa 3Kb.

6.2.3.2 Gruppi di temperatura intermedia (*Levico, Cima d'Arzon*)

LEVICO (LV057, LV007, LV020).

Questi campioni presentano un grado di ricristallizzazione della massa di fondo decisamente superiore a quello dei porfiroidi del Comelico. In sezione, le lamelle dei letti lepidoblastici (clorite e muscovite) raggiungono in media i 200 µm di lunghezza e 50 µm di larghezza. Queste rocce sono costituite da prevalenti livelli granoblastici di quarzo, albite, epidoto alternati a sottili livelli lepidoblastici costituiti da muscovite e clorite. La struttura è scistoso-piana (LV007, LV057) o scistoso-pieghettata (LV020), eteroblastica per la presenza di grossi porfiroclasti di origine premetamorfica (K-feldspato, quarzo, plagioclasio) che spiccano sulla matrice microblastica. Si individua una sola anisotropia planare S₁; frequenti sono gli effetti di "flattening" attorno ai relitti dei fenocristalli magmatici.

La **paragenesi premetamorfica** è costituita da: K-feldspato, quarzo, plagioclasio, opachi. La **paragenesi metamorfica** è composta da quarzo, albite, K-feldspato, clorite, muscovite, opachi, epidoti. Tra gli accessori si rinvencono zircone, apatite, rutilo. Per le fasi accessorie non è possibile, sulla base di osservazioni microstrutturali, definirne

l'origine blastica oppure premetamorfica (magmatica).

I cristalli di *K-feldspato* mostrano frequentemente geminazioni secondo la legge Karlsbad e sono spesso affetti da smescolamenti micropertitici. Possono presentare, inoltre, le tipiche anse di corrosione dei relitti magmatici. Modeste sono le ricristallizzazioni ai margini di microclino.

I relitti di *quarzo* appaiono in individui spesso isodiametrici con bordi corrosi. Essi mostrano estinzioni ondulate dovute alla deformazione subita durante l'evento metamorfico. Il quarzo blastico, invece, costituisce assieme all'albite i livelli granoblastici, dove cristallizza in individui di varie dimensioni, con estinzione ondulata e contorni irregolari.

Il *plagioclasio* è presente in porfiroclasti di origine premetamorfica intensamente seriticizzati. Comune è la geminazione polisintetica secondo la legge dell'albite. E' presente inoltre dell'albite a scacchiera formatasi, molto probabilmente (SASSI & ZIRPOLI, 1965; CALLEGARI & DE PIERI, 1966), per sostituzione sodica dei K-feldspati (forse sanidino), come effetto, come nei porfiroidi del Comelico, della elevata mobilità degli alcali.

La *clorite* si rinviene in tre situazioni: a) in lamelle sincinematiche che costituiscono i piani scistosità S_1 assieme alla muscovite; b) come clorite formatasi per trasformazione retrograda di biotite (LV007, LV057). Tale clorite si associa sempre a minerali opachi; c) in lamelle postcinematiche, prive di una orientazione preferenziale, cristallizzate (assieme alla muscovite) in condizioni statiche a formare anche archi poligonali su cerniere di pieghe (LV020).

La *mica chiara* presenta caratteristiche del tutto simili a quelle della clorite blastica. Se ne distinguono infatti due generazioni: una sincinematica parallela alla S_1 ed una statica.

Dallo studio delle compatibilità mineralogiche si può delineare la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- un primo evento deformativo Def_1 e la contemporanea cristallizzazione Cr_1 di clorite, albite, quarzo, muscovite hanno determinato l'instaurarsi di piani di scistosità. L'effetto di tale deformazione è anche testimoniato nei fenocristalli magmatici dalla presenza di fratturazione e di estinzioni ondulate nei porfiroclasti, e di effetti di "flattening" attorno ad essi;
- un secondo evento deformativo (Def_2) ha ripiegato la S_1 senza produrre, però, ulteriori anisotropie planari;
- una cristallizzazione statica Cr_2 ha determinato la formazione di clorite e muscovite in lamelle discordanti rispetto alla scistosità esterna, o in archi poligonali sulle cerniere

delle pieghe preesistenti;

- infine una fase retrograda ha provocato la trasformazione retrograda della biotite in clorite.

I campioni da me studiati non sono adatti per una ricostruzione delle condizioni termiche e bariche vigenti durante l'evento metamorfico. Tuttavia uno studio realizzato sui porfiroidi della stessa zona (MELI, 1995) ha dimostrato l'appartenenza di tali rocce alla zona della biotite della facies degli scisti verdi congruentemente a quanto si può dedurre dalle filladi incassanti. Il carattere barico del metamorfismo può essere dedotto da studi fatti in altre zone del Basamento Sudalpino delle Alpi Orientali dove la pressione stimata è di circa 3 Kbar (SASSI & SPIESS, 1993 e letteratura citata).

CIMA D'ARZON (CA026).

Lo studio delle cloriti dei porfiroidi di Cima d'Arzon è stato reso possibile in un solo campione: CA026. La ricristallizzazione della massa di fondo di questi porfiroidi è sicuramente superiore a quella dei porfiroidi del Comelico e paragonabile a quella dei porfiroidi di Levico dai quali, tuttavia, si discosta nettamente per composizione ed assetto microstrutturale. Si nota innanzitutto l'abbondante presenza di piccoli cristalli di epidoto organizzati soprattutto in scie nei letti granoblastici. Inoltre, è da notare la presenza di rare lamelline di biotite associate a muscovite.

Caratteristiche invece comuni con gli altri porfiroidi sono: 1) la bimodalità della granulometria dovuta alla presenza di relitti di fenocristalli magmatici che risaltano su una massa di fondo a grana più minuta, costituita da miche chiare, clorite, biotite, quarzo, albite; 2) l'alternanza, in queste rocce, di prevalenti bande quarzoso-albitiche con subordinate bande fillosilatiche. La struttura è scistoso-pieghettata.

La **paragenesi premetamorfica** probabilmente era costituita da K-feldspato, plagioclasio, quarzo. La **paragenesi metamorfica** è composta da quarzo, albite, K-feldspato, muscovite, clorite, epidoto, biotite, minerali opachi. Non è possibile, invece, assegnare ad una delle due paragenesi gli accessori che si rinvenivano in tali rocce: apatite, zircone, titanite, e minerali opachi, i quali ultimi, in questi porfiroidi costituiscono a volte livelletti discreti (magnetite ed ematite).

Il *K-feldspato* relitto mostra bordi irregolari ed anse di corrosione tipiche dei relitti magmatici. Frequenti sono le geminazioni secondo la legge Karlsbad, e gli smescolamenti pertitici dovuti a riequilibrazioni subsolidus postmagmatiche, modificate in parte da rimobilizzazione metamorfica degli alcali. Può presentare inoltre un aspetto terroso dovuto a processi di sericitizzazione e caolinizzazione.

I relitti di *quarzo* assumono forma isodiametrica, con contorni irregolari ed estinzione ondulata. Il *quarzo* blastico costituisce invece, oltre a concorrere alla composizione della massa di fondo, costituisce anche aggregati lenticolari monomineralici poligranulari e lenti monomineraliche a struttura pavimentosa, i cui cristalli non hanno estinzione ondulata.

I *plagioclasti* relitti (albite) mostrano geminazioni a due individui o polisintetiche, e sono spesso affetti da intensa sericitizzazione. I *plagioclasti* metamorfici (albite) concorrono alla composizione della massa di fondo.

La *clorite* cristallizza in diverse situazioni: a) in lamelle sincinematiche, lungo cerniere di pieghe ed associate a muscovite (colori di interferenza anomali sui toni del marrone); b) in lamelle statiche di maggiori dimensioni, di aspetto tozzo e rigido, allineate lungo S_1 ; c) in lamelle che presentano chiazze con pleocroismo giallo - bruno lungo le tracce di sfaldatura ed i bordi, spesso associate a minerali opachi. In tali lamelle i colori di interferenza anomali possono essere sui toni del marrone al nucleo della lamella e sui toni del blu in periferia. Verosimilmente si tratta di *clorite* formatasi per alterazione retrograda di biotite.

La *muscovite* si presenta in lamelle sia sincinematiche che postcinematiche. Le prime si orientano lungo la scistosità mentre le seconde si dispongono senza alcuna orientazione preferenziale.

La biotite appare in rare lamelline sincinematiche associate alla muscovite.

Tra gli opachi si notano idioblasti di magnetite ed ematite. Da segnalare inoltre la presenza di titanite (unico esempio tra i porfiroidi studiati in questa tesi), .

Per i porfiroidi di Cima d'Arzon si può dedurre la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- ad un primo evento deformativo Def_1 con cristallizzazione Cr_1 , è dovuta la comparsa di mica chiara, *clorite*, biotite orientata lungo S_1 nei letti lepidoblastici e di *quarzo* ed albite nei letti granoblastici. Tale deformazione ha lasciato chiari effetti nei porfiroclasti premetamorfici (fratture risanate, estinzione ondulata) e intorno ad essi (fenomeni di "flattening");
- una seconda deformazione Def_2 ha ripiegato la S_1 conferendo alla roccia una struttura pieghettata; tuttavia l'intensità e modalità di tale deformazione non sono state tali da produrre nuove foliazioni;
- una seconda fase blastica (Cr_2) ha comportato la formazione di lamelle di muscovite e di *clorite* statiche, discordanti con la S_1 .
- infine una fase retrograda del metamorfismo ha determinato l'alterazione di biotite in

clorite.

Il metamorfismo che ha interessato questi porfiroidi, così come quelli di Levico, ha avuto verosimilmente luogo a temperature corrispondenti alla zona a biotite della facies degli scisti verdi, come testimoniato dalla presenza di albite + epidoto + biotite. La pressione è stata stimata a circa 3 Kb (SASSI & SPIESS, 1993)

6.2.3.3 Gruppo di alta temperatura (Val Sarentino)

VAL SARENTINO (VD29, VD54, VD58)

L'area di provenienza di questi campioni è la stessa da cui derivano i campioni da me studiati di metapeliti della Val Sarentino e di metabasiti di Dosso Caldo delle Felci. Da un punto di vista stratigrafico, i porfiroidi si localizzano tra le metapeliti (a loro sottostanti) e le metabasiti (sovrastanti i porfiroidi). Il grado di ricristallizzazione raggiunto in queste rocce è il più elevato tra i porfiroidi finora studiati: le lamelle di clorite in sezione possono raggiungere i 300µm di lunghezza e 50µm di larghezza.

Caratteristica generale in tutti questi campioni è la presenza di grandi porfiroclasti di K-feldspato, di quarzo, di plagioclasio che risaltano su una massa di fondo a grana più minuta conferendo a queste rocce una struttura eterogranulare. Sono presenti inoltre effetti di "flattening" attorno a tali relitti magmatici, con cristallizzazione di quarzo, K-feldspato, muscovite e clorite in ombre di pressione. Zirconi ed apatiti, presenti come accessori, sono difficilmente assegnabili ad una determinata paragenesi pre- o sin-metamorfica.

La **paragenesi premetamorfica** è quindi costituita almeno da: K-feldspato, quarzo, plagioclasio, minerali opachi.

Il *K-feldspato*, che costituisce la fase mineralogica più abbondante tra i relitti premetamorfici, si presenta in individui geminati secondo la legge Karlsbad, con anse di corrosione e fratturazioni nelle quali si può avere una diffusa ricristallizzazione microblastica. Trasformazioni subsolidus del K-feldspato si manifestano sottoforma di smescolamenti peritici e sotto forma di sericitizzazione o caolinizzazione, che conferiscono ai porfiroclasti di K-feldspato un aspetto terroso.

Il *quarzo* premetamorfico appare in individui dai bordi corrosi, per lo più isodiametrici e con evidente estinzione ondulata.

I *plagioclasti* presentano spesso geminazioni polisintetiche ed alterazione in sericite.

In base alla paragenesi metamorfica ed a considerazioni microstrutturali si possono dividere i campioni studiati in due sottogruppi: a) porfiroidi a granato (VD029); b) porfiroidi senza granato (VD54, VD58).

a) Porfiroidi a granato (VD029)

Questa roccia è costituita dall'alternanza di letti lepidoblastici di muscovite, clorite, biotite con letti granoblastici costituiti da albite e quarzo. La struttura è scistoso-piana, eterogranulare per la presenza di porfiroblasti di granato metamorfico e di porfiroclasti di genesi premetamorfica.

La **paragenesi metamorfica** è costituita da: quarzo, albite, K-feldspato, granato, biotite, muscovite, clorite, epidoto, opachi.

Il *granato* è presente in porfiroblasti dai contorni a volte euedrali, a volte un po' irregolari, affetti da fratture. All'interno delle fratture possono cristallizzare venette di quarzo oppure possono instaurarsi processi di alterazione in clorite. Frequenti sono le inclusioni di granuli di quarzo, muscovite, opachi. In un caso è stato notato, quale incluso nel granato, un porfiroclasto di plagioclasio fortemente sericitizzato.

Il *quarzo* e l'*albite* si presentano in granuli di diverse dimensioni nei livelli granoblastici. Nel quarzo inoltre è presente l'estinzione ondulata.

La *muscovite* e la *biotite* si presentano in lamelle allungate lungo la scistosità S_1 , o in lepidoblasti non orientati riferibili ad una fase statica.

La *clorite* si rinviene in: a) lamelle sincinematiche isoorientate con muscovite e biotite a definire la scistosità della roccia b) lamelle formatesi durante una fase retrograda del metamorfismo, per alterazione di biotite; c) lamelle statiche pseudomorfe su granato. Nel caso a) le lamelle posseggono debole pleocroismo, debole rilievo e colori anomali sui toni del marrone; nei casi b) e c) le lamelle si distinguono per il rilievo più evidente, il pleocroismo più marcato, e i colori di interferenza anomali sui toni del blu; nel caso c) le cloriti includono numerosi granuli di titanite. I primi due tipi di clorite possono, a volte, trovarsi concresciuti.

b) Porfiroidi a clorite e biotite (VD54, VD58)

In questi campioni la struttura è data dall'alternanza di sottili livelli lepidoblastici individuati dalla isoorientazione di muscovite e clorite con livelli granoblastici. La tessitura è scistoso-piana.

La **paragenesi metamorfica** è data da quarzo, albite, K-feldspato, muscovite, biotite, clorite, epidoto, opachi.

Il *quarzo*, che presenta estinzione ondulata, costituisce assieme all'*albite* i livelli granoblastici. Entrambi cristallizzano in granuli di diverse dimensioni.

La *biotite* è presente in lepidoblasti di grandi dimensioni, per lo più privi di orientazione preferenziale. A volte è alterata in clorite.

La *muscovite* si rinviene sotto forma di sericite, oppure in lamelle di maggiori

dimensioni cristallizzate sia lungo la S principale che trasversalmente ad essa.

La *clorite* cristallizza in lamelle di grandi dimensioni orientata parallelamente ai piani di scistosità oppure con orientazione casuale. Tali lamelle presentano contorni irregolari, e inoltre contengono inclusioni di granuli opachi lungo le tracce di sfaldatura. Il pleocroismo è marcato sui toni del giallo - verde scuro. Alcune lamelle possono avere un pleocroismo meno marcato: giallo pallido - verde. Per tutte il colore d'interferenza anomalo è grigio-azzurro. Si tratta di clorite di derivazione retrograda da biotite.

Per i porfiroidi della Val Sarentino è possibile ricostruire la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- durante un primo evento deformativo Def_1 si è avuta la cristallizzazione blastica (Cr_1) di mica chiara, clorite, biotite, quarzo, albite e in parte di granato con organizzazione di tali fasi in letti lepidoblastici alternati a prevalenti letti granoblastici. La Def_1 ha causato inoltre delle deformazioni postcristalline sui relitti di fenocristalli magmatici ed ha determinato effetti di flattening attorno ad essi, con cristallizzazione (che si può considerare sincinemica) di K-feldspato e quarzo nelle ombre di pressione;
- una seconda fase deformativa Def_2 ha ripiegato debolmente la S_1 senza essere accompagnata da cristallizzazione;
- durante una seconda fase di cristallizzazione (Cr_2), di natura statica, si sono formate lamelle di muscovite e di biotite non orientate, e si è verificata la crescita di granati euedrali (VD029) non deformati e privi di inclusioni;
- infine una terza fase di cristallizzazione (Cr_3) con carattere retrogrado ha prodotto modesti effetti di cloritizzazione del granato e della biotite.

Dal punto di vista geotermobarometrico, le associazioni mineralogiche rilevate in queste rocce non possono considerarsi sufficienti per una ricostruzione certa delle condizioni termiche e bariche del metamorfismo. La presenza di albite + epidoto + granato è sicura indicatrice dell'appartenenza di tali rocce alla fase di più alta temperatura della facies degli scisti verdi. In realtà il granato in questi porfiroidi, è relativamente ricco nella componente spessartina, ma nelle metapeliti intercalate ai porfiroidi è dimostrata la presenza di granato almandino (CARDIN, 1983; CARDIN *et al.*, 1985). Le misure di b_0 effettuate sulle muscoviti di metapeliti della Val Sarentino (CARDIN *et al.*, 1985) ci permettono di assegnare al metamorfismo che ha interessato tali rocce, un carattere di bassa pressione e di alto gradiente termico. In generale per il basamento sudalpino (SASSI & SPIESS, 1993 e letteratura citata) è stato stimato un valore di pressione corrispondente a circa 3Kbar.

6.3 POPOLAZIONE DI CAMPIONI DI PRESSIONE INTERMEDIA: PETROGRAFIA ED INTERVALLI DI TEMPERATURA

6.3.1 Le metapeliti

Sono stati considerati 6 campioni di metapeliti riconducibili a quattro diversi gruppi di cui i primi due provengono dalle Highlands Scozzesi Centrali (Località 3 e Località 4) mentre il terzo e quarto gruppo provengono dalla formazione dei Calcescisti con ofioliti del Pennidico dei Tauri in particolare dall'Alta Val di Vizze e dalla Val Cesa (Selva dei Molini).

6.3.1.1 Gruppo di bassa temperatura

HIGHLANDS SCOZZESI CENTRALI, LOCALITA' 4 (65635B, 4/5)

In questi campioni, letti essenzialmente lepidoblastici si alternano a sottili letti granoblastici. La struttura è scistoso-piana. Il campione 65635B è di composizione decisamente più pelitica, mentre il campione 4/5 è pelitico tendenzialmente arenaceo.

La matrice (costituita da sericite e clorite) presenta una grana molto minuta, ma su di essa risaltano lepidoblasti di clorite e di muscovite generalmente non orientati, con dimensioni medie in sezione attorno ai 70-80 μm in lunghezza e 25 μm in larghezza. Inoltre, la presenza di granuli di quarzo e di albite di dimensioni nettamente superiori a quelle della matrice, concorre a rendere la struttura eteroblastica.

L'isoorientazione dei fillosilicati definisce la scistosità prevalente (S_2), che è anche sottolineata dalla distribuzione di ossidi di ferro e di scie di opachi. All'interno dei livelli prevalentemente granoblastici è possibile individuare le cerniere relitte della vecchia scistosità S_1 .

I componenti mineralogici principali sono: muscovite, quarzo, albite, clorite. Tra gli accessori troviamo: zirconi, tormalina, minerali opachi, ossidi di ferro.

La *muscovite* si rinviene sotto forma di sericite sia lungo i piani di scistosità S_2 che nelle cerniere relitte della S_1 . Lamelle di muscovite di maggiori dimensioni cristallizzano mimeticamente parallele alla scistosità prevalente oppure con direzione di allungamento trasversale ad essa.

Il *quarzo* è presente in tre diversi contesti microstrutturali: a) in porfiroclasti sia monomineralici (65635B) che policristallini (4/5) di dimensioni nettamente maggiori a quelle della matrice; tali individui hanno per lo più forma allungata ed estinzione ondulata, e possono disporsi sia lungo la scistosità prevalente che trasversalmente ad essa, nel qual caso si notano deboli effetti di "flattening" non accompagnati da cristallizzazione nelle ombre di pressione; b) in granoblasti isodiametrici di piccole

dimensioni che vanno a costituire i livelli granoblastici; c) in granuli, all'interno dei livelli lepidoblastici, di più piccole dimensioni rispetto ai porfiroclasti descritti in a); tali cristalli hanno forme spigolose ed allungate lungo la direzione dei piani di scistosità.

L'*albite* si rinviene in situazioni del tutto analoghe a quelle del quarzo: a) in cristalli di dimensioni maggiori rispetto a quelle della massa di fondo; b) in granoblasti, talora geminati polisinteticamente, che costituiscono, assieme al quarzo, i livelli granoblastici; c) in individui allungati secondo la S_2 che talora presentano geminazioni polisintetiche.

La *clorite* cristallizza nei seguenti siti microstrutturali: a) nella massa di fondo assieme alla sericite, in minuscole lamelle che delineano la scistosità prevalente; b) lungo le cerniere delle vecchie pieghe relitte; c) in lamelle statiche di maggiori dimensioni con l'asse di allungamento trasversale rispetto alla direzione dei piani di scistosità S_2 .

Dall'analisi microstrutturale e da considerazioni mineralogiche si può ricostruire, per tali metapeliti, la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- un primo evento blastico sincinemico (Def_1 e Cr_1) ha probabilmente determinato la cristallizzazione di muscovite, quarzo, albite, clorite lungo piani di scistosità S_1 , ancora riconoscibili sotto forma di cerniere relitte di vecchie pieghe;
- successivamente, un secondo evento deformativo (Def_2) ha ripiegato la S_1 , con contemporanea blastesi Cr_2 che ha prodotto la nuova anisotropia planare S_2 e cristallizzazione di quarzo, muscovite, albite, clorite.

Dallo studio delle compatibilità mineralogiche, si deduce che questa roccia ha raggiunto il suo culmine termico in condizioni di temperatura corrispondenti alla zona a clorite della facies degli scisti verdi. Dal punto di vista barico, in questa porzione delle Highlands Scozzesi il metamorfismo è tipicamente di pressione intermedia (barroviano s.s.).

6.3.1.2 Gruppo di temperatura medio alta

HIGHLANDS SCOZZESI CENTRALI, LOCALITA' 3 (67691, 67694)

Questi campioni presentano una struttura lepido-granoblastica, con sottili livelli lepidoblastici che si alternano a spessi livelli granoblastici. La struttura si può inoltre definire eteroblastica per la presenza di cristalli di quarzo e di albite di dimensioni maggiori rispetto a quelle della matrice. La scistosità è pieghettata nel campione 67691 che è tendenzialmente arenaceo o scistoso-ondulata nel campione 67694 che ha la composizione pelitica. Si individua una sola scistosità S_1 . Tuttavia, ma di rado, si possono trovare lamelle di muscovite cristallizzate lungo nuove anisotropie S_2 (67691). Nei letti lepidoblastici si riconosce una matrice a grana fine la cui componente scistogena

è data da sericite e clorite. Su tale matrice e concordemente ad essa cristallizzano lamelle non deformate di clorite e muscovite di dimensioni maggiori (fino a 250 μm di lunghezza e 30 μm di larghezza, in sezione).

I **componenti mineralogici fondamentali** sono: quarzo, albite, muscovite, clorite. Tra gli accessori si trovano: zirconio, tormalina, calcite (67691), epidoto, titanite, rutilo, magnetite, ematite.

Il *quarzo* si rinviene in cristalli di notevoli dimensioni caratterizzati da estinzione ondulata, oppure in granuli isodiametrici più piccoli che costituiscono i livelli granoblastici.

L'*albite* è presente in grossi porfiroblasti notevolmente alterati in sericite, oppure in granuli di minori dimensioni privi di alterazione, situati nei letti granoblastici assieme al quarzo.

La *muscovite* si trova sotto forma di sericite sincinemica nella massa di fondo dei livelli lepidoblastici. Lamelle di muscovite postcinematica di maggiori dimensioni cristallizzano mimeticamente lungo i piani di scistosità o trasversalmente ad essi.

La *clorite* si rinviene in diversi contesti microstrutturali: a) in lamelle sincinematiche associate alla sericite della matrice; b) in lamelle idiomorfe a sezione rettangolare disposte parallelamente alla S_1 all'interno dei letti lepidoblastici; c) in lamelle simili a queste ultime, ma cristallizzate all'interno dei livelli granoblastici; d) in lamelle con orientazione perpendicolare alla scistosità.

A questo punto si può ricostruire la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- un primo evento deformativo Def_1 è stato accompagnato dalla blastesi (Cr_1) di quarzo, albite, muscovite (sericite) e clorite lungo piani di scistosità S_1 .
- un secondo evento deformativo Def_2 ha provocato il ripiegamento o l'ondulazione dei piani S_1 con la comparsa, in qualche raro caso (67691), di anisotropie planari discontinue sottolineate dalla cristallizzazione di lamelle di muscovite;
- una successiva fase statica Cr_2 ha determinato la cristallizzazione di lepidoblasti di muscovite e di clorite idiomorfi sopra la matrice cloritico-sericitica, con orientazione a volte mimeticamente parallela alla scistosità, a volte perpendicolare ad essa.

Entrambi i campioni studiati non hanno chimismo adatto alla comparsa dell'associazione mineralogica che esprime il loro reale grado metamorfico. Questo, per quanto risulta dalla letteratura regionale (FETTES, com. pers.) corrisponde al passaggio fra la zona della biotite e quelle dell'almandino del metamorfismo barroviiano s.s. cioè di pressione intermedia.

6.3.1.3 Gruppo di alta temperatura

PENNIDICO DEI TAURI, VAL DI VIZZE (305).

La struttura di questa roccia è caratterizzata dall'alternanza di bande granoblastiche (quarzo e feldspato) e bande lepidoblastiche (muscovite, biotite e clorite). La presenza, inoltre, di porfiroblasti di granato, conferisce alla struttura della roccia un carattere porfiroblastico. Si individua un'unica scistosità (S_1), da ondulata a localmente pieghettata.

I **componenti mineralogici principali** sono: muscovite, quarzo, biotite, granato, plagioclasio, clorite. Gli accessori: ilmenite, epidoto, ematite, zirconi.

La *muscovite* compare in diversi modi: a) lamelle sincinematiche lungo S_1 , deformate; b) lamelle di maggiori dimensioni, tozze, non deformate, allineate lungo la direzione di S_1 , sia nei letti lepidoblastici che in quelli granoblastici; c) grossi lepidoblasti non orientati che a volte possono includere piccole ilmeniti allineate con la scistosità esterna. Il *quarzo* è il principale componente dei livelli granoblastici. Si presenta in individui eterogenei per dimensione, con estinzione ondulata.

Nei livelli granoblastici sono presenti inoltre rari *plagioclasti* con geminazione polisintetica e/o con una diffusa alterazione lungo i bordi.

La *biotite* presenta caratteristiche microstrutturali del tutto simili a quelle della muscovite. Si rinviene infatti: a) in lamelle sincinematiche ripiegate, poste all'interno dei livelli lepidoblastici; b) in lamelle più rigide, non deformate, allungate in direzione di S_1 sia all'interno dei livelli granoblastici che di quelli lepidoblastici; c) in grossi lepidoblasti con direzione trasversale rispetto ai piani di scistosità. A volte presenta alterazione retrograda in clorite.

Il *granato* è presente in porfiroblasti idiomorfi dalle forme per lo più isodiametriche. Si ritrova sia in individui isolati (con diametro massimo pari a mezzo millimetro), sia in grappoli allineati lungo la scistosità S_1 . La cristallizzazione del granato può avvenire sia nei livelli granoblastici che in quelli lepidoblastici. In quest'ultimo caso, esso ingloba piccoli idioblasti di ilmenite disposti in scie concordanti con la scistosità esterna. Lungo i margini dei porfiroblasti di granato talora si nota alterazione di natura retrograda in clorite.

La *clorite* cristallizza in diversi contesti microstrutturali: a) in lamelle sincinematiche che costituiscono la "massa di fondo" dei letti lepidoblastici assieme a muscovite e biotite sincinematiche; b) in lamelle di maggiori dimensioni con sezione rettangolare (lunghe 100-150 μ m e larghe circa 20 μ m), non deformate e generalmente allineate lungo la S_1 ; c) in lamelle e aggregati poligranulari formati per alterazione rispettivamente di biotite e

di granato durante una fase retrograda del metamorfismo.

PENNIDICO DEI TAURI, VAL CESA (Brs606).

Questo campione si caratterizza per una struttura essenzialmente lepidoblastica, con rare lenti granoblastiche. La presenza di porfiroblasti di granato e di plagioclasio conferisce alla struttura un carattere porfiroblastico. In questa roccia sono evidenti due scistosità, di cui una (da piana ad ondulata) costituisce la scistosità prevalente (S_2) e l'altra si individua sotto forma di cerniere relitte di vecchie pieghe di S_1 .

I **componenti mineralogici principali** sono: muscovite, clorite, granato, plagioclasio, quarzo. Tra gli accessori troviamo: ilmenite, tormalina, epidoto.

La *muscovite* è presente in diversi modi: a) sotto forma di sericite nelle cerniere relitte delle vecchie pieghe di S_1 ; b) in lamelle di maggiori dimensioni, aventi sezione rettangolare e disposte lungo i piani di scistosità S_2 ; c) in lepidoblasti tozzi privi di orientazione preferenziale.

Anche la *clorite* cristallizza in diversi siti microstrutturali: a) in lamelle parallele alla scistosità S_2 ; b) in lamelle statiche prive di orientazione o in aggregati a struttura decussata; c) in ombre di pressione di ilmenite e di granato.

Il *granato* appare in porfiroblasti idiomorfi di diametro fino a 40mm. In essi le scie di inclusione sono costituite da sericite, tormalina e ilmeniti, e sono disposte concordemente alla scistosità S_1 . Attorno al granato si possono osservare effetti di "flattening" determinati dal ripiegamento della S_2 . Nelle ombre di pressione può cristallizzare quarzo e clorite.

Il *plagioclasio* è presente in porfiroblasti ameboidi che si accrescono a spese dei letti sericitici, inglobando lamelline di mica e qualche volta di ilmenite orientate concordemente alla S_1 .

I cristalli di *quarzo*, vari per dimensione, presentano estinzione ondulata. Si notano inoltre livelli quarzosi paralleli alla vecchia scistosità e dislocati dalla S_2 .

Per entrambi i campioni studiati del Pennidico dei Tauri, l'analisi microstrutturale e le osservazioni mineralogiche hanno permesso di ricostruire, per questa roccia, la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- un primo evento deformativo Def_1 e la concomitante cristallizzazione Cr_1 hanno determinato la crescita sincinemica di muscovite, biotite, clorite, quarzo, lungo piani di scistosità S_1 ;
- un secondo evento deformativo Def_2 ha provocato il ripiegamento della S_1 ;
- una successiva fase statica Cr_3 ha determinato la cristallizzazione dei porfiroblasti di

granato e delle lamelle di maggiori dimensioni di muscovite, clorite e biotite, che a volte sono parallele ai piani S_1 , a volte sono privi di orientazione;

- infine, una fase retrograda del metamorfismo ha provocato localmente l'alterazione di granato e biotite in clorite.

Per quanto riguarda le condizioni termiche e bariche dei campioni da me considerati del Pennidico dei Tauri, la presenza in essi di biotite e di granato almandino indica temperature corrispondenti alla zona ad almandino della facies degli scisti verdi. DE VECCHI & BAGGIO (1982) hanno individuato nel settore sud occidentale della Finestra dei Tauri una zoneografia metamorfica che comprende questa zona di più alta temperatura della facies degli scisti verdi e la zona di più bassa temperatura della facies anfibolitica. Le aree di provenienza dei campioni qui studiati si collocano presso il limite tra le due zone per il campione 305, e nell'ambito della zona ad almandino per il campione Brs606. La pressione è stata stimata attorno a valori di 6Kb (DE VECCHI & BAGGIO, 1982; SCHULZ *et al.*, 1995).

6.3.2 Le metabasiti

Per lo studio delle metabasiti di pressione intermedia sono stati considerati 5 campioni riconducibili a tre diversi gruppi di cui uno proveniente dalle Highlands Scozzesi Centrali (Località 4), uno proveniente dalle Highlands Scozzesi Occidentali (Località 2) ed uno proveniente dalla formazione dei calcescisti con ofioliti del Pennidico dei Tauri (Alta Val di Vizze).

6.3.2.1 Gruppo di bassa temperatura

HIGHLANDS SCOZZESI CENTRALI, LOCALITA' 4

I campioni di metabasite provenienti da quest'area si differenziano per le caratteristiche strutturali e tessiturali; essi pertanto vengono descritti separatamente.

Campione 4/1B.

In questo campione la struttura è lepidoblastica eteroblastica, per la presenza di una matrice a grana minuta costituita da lamelle isoorientate di clorite e di mica chiara dimensioni (dimensioni medie: circa 50µm) e da piccoli cristalli di epidoto, sulla quale risaltano granuli di quarzo e di albite di maggiori dimensioni. Sono presenti, inoltre, plaghe ameboidi di calcite che includono cristalli di albite e di epidoto. La tessitura si può definire scistoso-piana. La frazione lepidoblastica in questo campione prevale nettamente su quella granoblastica.

I componenti mineralogici principali sono: clorite, epidoto, mica chiara, quarzo,

albite e calcite. I minerali accessori sono: titanite.

La *clorite* cristallizza in lamelle di piccole dimensioni (50µm circa) caratterizzate da debole pleocroismo da incolore a verde chiaro, e colori di interferenza anomali sui toni del grigio-marrone.

La *mica chiara* è presente in piccole lamelle incolori e costituisce, sebbene in quantità subordinate rispetto alla clorite, la componente lepidoblastica della roccia.

L'*epidoto* si rinviene in minuscoli cristalli caratterizzati da forte rilievo ed alti colori di interferenza.

Il *quarzo* e l'*albite* si presentano in individui allotriomorfi all'interno dei letti lepidoblastici. L'albite presenta geminazioni polisintetiche ed a volte altera in sericite.

Campione 4/2B.

La struttura di questo campione si può definire cristalloblastica eteroblastica, ed è caratterizzata dalla presenza di granuli di quarzo e di albite associati a lamelle di clorite in aggregati a struttura decussata delle dimensioni di 70-80µm. La componente granoblastica prevale sulla componente scistogena, ed ha grana maggiore che nel campione 4/1B.

I **componenti mineralogici principali** sono: quarzo, clorite, albite, mica chiara, epidoto. Tra gli accessori si rinvencono: titanite ed ematite

Il *quarzo* costituisce, assieme all'albite, la componente granoblastica, cristallizzando in individui più o meno isodiametrici e con estinzione ondulata.

La *clorite* cristallizza in aggregati a struttura decussata e presenta un pleocroismo marcato sui toni giallo chiaro - verde, e colori di interferenza anomali marrone con tonalità violacea. Talvolta, lungo il bordo e le tracce di sfaldatura di tali lamelle, si notano chiazze pleocroiche sui toni giallo-bruni.

L'*albite* è presente in granuli a volte alterati in sericite. Comuni sono le geminazioni a due individui e le geminazioni polisintetiche.

La *mica chiara* cristallizza in lamelle non orientate. Si trova sempre associata alla clorite rispetto alla quale però è meno abbondante.

L'*epidoto* si rinviene in cristalli di piccole dimensioni con forte rilievo ed alta birifrangenza.

Per entrambi i campioni studiati, le osservazioni microstrutturali e mineralogiche effettuate permettono di ipotizzare la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- un evento deformativo Def₁ e blastico Cr₁ ha comportato la cristallizzazione di clorite, albite, quarzo, mica chiara, epidoto con isoorientazione dei fillosilicati. Successivamente (Cr₂) possono essersi formate le plaghe ameboidi di calcite, che includono piccoli cristalli

di epidoto.

L'associazione mineralogica presente in questi campioni permette di stimare, per il metamorfismo che ha interessato queste rocce, una temperatura corrispondente alla zona a clorite-actinolite della facies degli scisti verdi.

Nella porzione delle Highlands Scozzesi da dove provengono questi campioni, il metamorfismo regionale è tipicamente di pressione intermedia (metamorfismo barroviano, s.s.: FETTES *et al.*, 1976)

HIGHLANDS SCOZZESI OCCIDENTALI, LOCALITA' 2 (6965)

Questo campione presenta una struttura cristalloblastica eteroblastica. La presenza di grandi cristalli di albite inoltre conferisce alla struttura un carattere eterogranulare, largamente influenzato con tutta probabilità dalla struttura del protolite (roccia plutonica?).

I **componenti mineralogici principali** (anfibolo, clorite, plagioclasio, epidoto) sono cristallizzati senza alcuna orientazione preferenziale. Tra i componenti accessori si rinvencono: titanite, calcite, ematite, magnetite.

L'*anfibolo* si presenta in piccoli cristalli prismatici con debole pleocroismo sui toni giallo pallido, giallo verde, verde chiaro tipici dell'actinolite. Tale composizione è stata confermata dall'analisi in microsonda elettronica.

La *clorite* cristallizza in blasti non orientati lunghi mediamente 150µm, a contatto con l'anfibolo. Queste lamelle sono caratterizzate da un pleocroismo abbastanza marcato (giallo pallido - verde) e da colori d'interferenza anomali sui toni del marrone.

L'*albite* si presenta in cristalli di grandi dimensioni, probabilmente in gran parte ignei con bordo metamorfico, spesso con geminazioni polisintetiche. Al suo interno possono trovarsi come inclusi: epidoto, clorite, calcite.

L'*epidoto* si rinviene in individui di diverse dimensioni caratterizzati da pleocroismo incolore - giallo pallido e da alti colori di interferenza.

L'analisi microstrutturale consente di attribuire ad un unico **evento blastico-deformativo** (Cr₁-Def₁) la petrogenesi metamorfica di questa roccia.

L'analisi delle compatibilità mineralogiche permette di assegnare l'associazione riscontrata in queste metabasiti (clorite + actinolite + epidoto + albite) alla zona a clorite-actinolite della facies degli scisti verdi. Per il metamorfismo di questa regione è stato riconosciuto un carattere di pressione intermedia, ma con valori massimi nell'ambito di quelli tipicamente attribuiti al metamorfismo barroviano s.s. (FETTES *et al.*, 1976).

6.3.2.2 Gruppo di alta temperatura

PENNIDICO DEI TAURI, VAL DI VIZZE (340, 527b)

La struttura di questi campioni può essere definita eteroblastica porfiroblastica per la presenza di porfiroblasti di anfibolo, di epidoto e di albite che spiccano sulla massa di fondo costituita da clorite ed anfiboli isorientati. La scistosità si può considerare scistosopiana (527b). Inoltre la struttura di queste rocce può essere definita occhiadina per la presenza di numerosi domini attorno ai quali i piani di scistosità o lineazione prevalente S_2 si incurvano. Questi domini risultano costituiti da aggregati di clorite, quarzo, epidoto, anfiboli e calcite (sporadica in 527b ed abbondante in 340). Gli elementi che compongono questi domini e gli inclusi nei porfiroblasti di albite individuano vecchi piani di scistosità S_1 , che hanno una orientazione trasversale anche ad alto angolo rispetto alla S_2 .

I componenti mineralogici principali sono: anfibolo, clorite, epidoto, albite, quarzo. Tra gli accessori si riconoscono: calcite, titanite, minerali opachi (abbondanti nel campione 527b ma sporadici nel 340).

L'*anfibolo* è presente in individui di diverse dimensioni:

- a) porfiroblasti tozzi disposti trasversalmente (a volte quasi perpendicolarmente) alla S_2 , attorno ai quali si riconoscono effetti di "flattening" con incurvamento di S_2 ; tali anfiboli mostrano un nucleo con debole pleocroismo (giallo pallido - giallo verde - verde chiaro) tipico dell'*actinolite*, ed un bordo con pleocroismo più marcato (giallo pallido - verde chiaro - verde azzurro) tipico dell'*orneblenda*; tali composizioni sono state confermate in microsonda elettronica;
- b) porfiroblasti disposti parallelamente a S_2 , nei quali si riconosce la stessa zonatura *actinolite* - *orneblenda* sopra citata;
- c) nematoblasti allungati lungo S_2 che a volte risultano costituiti interamente da *orneblenda*, a volte invece possono presentare, come in a) e b), nucleo di *actinolite* e bordo di *orneblenda*;
- d) piccoli cristalli prismatici che individuano, assieme a clorite, la S_2 e, che presentano il pleocroismo tipico dell'*orneblenda* sia al nucleo che lungo il bordo.

La *clorite* si rinviene in lamelle lunghe mediamente $125\mu\text{m}$, caratterizzate da un pleocroismo abbastanza marcato (giallo chiaro - verde) e da colori di interferenza grigi. Si riconoscono sia lamelle isorientate che individuano la S_2 , sia lamelle prive di orientazione all'interno dei domini di quarzo, epidoto, anfiboli.

L'*epidoto* si rinviene in diverse situazioni microstrutturali:

- a) in porfiroblasti di grandi dimensioni disposti trasversalmente alla S_2 , ed attorno ad

alcuni dei quali sono stati notati effetti di "flattening". Tali porfiroblasti possono presentare: 1) pleocroismo incolore - giallo chiaro ed alti colori di interferenza tipici dell'"epidoto" (340); 2) assenza di pleocroismo e colori d'interferenza anomali grigio-blu con chiazze gialle tipici della clinozoisite/zoisite (527b); 3) nucleo di "epidoto" e bordo di clinozoisite/zoisite (340, 527b);

b) in aggregati di clinozoisite/zoisite ai quali si possono associare clorite e calcite a costituire domini non orientati lungo S_2 ; a volte gli individui di tali aggregati mostrano lievi zonature;

c) in singoli individui isolati prismatici di "epidoto" o clinozoisite/zoisite lungo S_2 .

Il *quarzo* si rinviene principalmente all'interno dei domini non orientati sopra menzionati e presenta estinzione ondulata.

Il *plagioclasio* è presente in diverse situazioni: a) in porfiroblasti non allungati con scie di inclusioni orientate lungo la vecchia S_1 ; b) in porfiroblasti allungati lungo la S_2 che presentano al loro interno scie di inclusioni concordanti con la scistosità esterna S_2 ; c) in granoblasti. I dati di microsonda elettronica rivelano che si tratta di albite (340) oppure sia albite che oligoclasio (527b).

Dall'analisi microstrutturale di queste rocce si può ricostruire la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- un primo evento deformativo-blastico Def_1-Cr_1 ha comportato la crescita di clorite, anfibolo, epidoto, quarzo lungo piani con direzione S_1 ;
- un secondo evento deformativo ha ripiegato la S_1 e ha provocato la cristallizzazione di anfiboli, clorite, epidoti lungo nuove direzioni S_2 , nonché di porfiroblasti di albite; questi ultimi includono scie di microinclusioni che, a seconda dei siti in cui si trovano, sono parallele a S_2 o a S_1 .

Per quanto riguarda le condizioni termiche del metamorfismo, l'associazione albite + orneblenda + epidoto è tipica della zona di più alta temperatura della facies degli scisti verdi. De VECCHI & BAGGIO (1982), SCHULZ *et al.* (1995) hanno dimostrato, per l'area di provenienza di queste metabasiti, condizioni metamorfiche corrispondenti al limite tra la facies degli scisti verdi e la facies anfibolitica. Il culmine termico avrebbe avuto luogo a temperature di 550-600°C.

Per quanto riguarda le condizioni bariche, gli stessi autori sopra citati hanno attribuito al metamorfismo che ha interessato tale area del Pennidico un carattere barroviano (cristallizzazione dei Tauri), con pressioni di circa 6Kb.

6.4 POPOLAZIONE DI CAMPIONI DI ALTA PRESSIONE: PETROGRAFIA ED INTERVALLI DI TEMPERATURA

6.4.1 Le metapeliti

6.4.1.1 Gruppo di bassa temperatura

ROC DE LA VALETTE (VAL31)

La struttura presente in questo campione è lepidogranoblastica, con letti a prevalenza di sericite e clorite che si alternano a letti nei quali prevale la componente quarzoso-feldspatica. La tessitura è scistoso-ondulata. Si individuano due scistosità, di cui una risulta essere la scistosità prevalente (S_2) e l'altra, più vecchia, è presente sotto forma di cerniere di pieghe relitte (S_1).

I **componenti principali** sono: mica chiara, quarzo, albite, clorite. Tra gli accessori si rinvencono: tormalina, grafite, apatite, ematite.

La *muscovite* cristallizza in diversi contesti microstrutturali: a) sotto forma di sericite lungo la scistosità prevalente (S_2); b) sempre come sericite nelle cerniere relitte delle pieghe lungo S_1 ; c) in lamelle statiche di maggiori dimensioni con orientazione trasversale rispetto alla S_2 .

Il *quarzo* appare in: a) individui appiattiti all'interno dei livelli lepidoblastici; b) in granuli di piccole dimensioni nei letti granoblastici; c) in lenti costituite da cristalli di dimensioni maggiori rispetto a quelle della massa di fondo, aventi estinzione ondulata.

L'*albite* costituisce assieme al quarzo la componente granoblastica, ma può anche cristallizzare nei livelli lepidoblastici, in cristalli postcinematici che includono scie opacitiche con orientazione concordante con la S_2 .

La *clorite* si rinviene in diversi contesti microstrutturali: a) in lamelle sincinematiche di piccole dimensioni cristallizzate assieme alla sericite lungo S_2 ; b) in lamelle sincinematiche di piccole dimensioni cristallizzate assieme alla sericite lungo S_1 ; c) in "fusi" lenticolari lungo S_2 , costituiti da lamelle cloritiche perpendicolari a S_2 ; d) in lamelle statiche di maggiori dimensioni orientate perpendicolarmente alla S_2 , o trasversalmente ad essa, oppure in archi poligonali su cerniere di pieghe relitte.

L'analisi microstrutturale ha permesso di ricostruire la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- un primo evento deformativo Def_1 ha determinato la cristallizzazione Cr_1 di muscovite, clorite, quarzo, albite lungo piani di scistosità S_1 ;
- un secondo evento deformativo Def_2 ha determinato il ripiegamento della S_1 e l'instaurarsi di una seconda anisotropia planare S_2 , con cristallizzazione Cr_2 di muscovite, clorite, quarzo, albite.

- infine una cristallizzazione statica Cr_3 ha visto la cristallizzazione di lamelle di muscovite e clorite con orientazione trasversale rispetto a quella della S_2 , nonché di plagioclasio postcinematico che include scie opacitiche che si raccordano con la scistosità S_2 .

La associazione mineralogica riscontrata in questa roccia è indicativa di condizioni di basso grado metamorfico (zona della clorite). La presenza di cloritoide e Mg-carpholite nelle metapeliti dello stesso livello roccioso è indicativa di alte pressioni.

6.4.1.1 Gruppi di temperatura intermedia

JASOV BEDS (JS7, JS10, JS15).

Questi campioni presentano una struttura prevalentemente lepidoblastica con rare intercalazioni di lenti granoblastiche. Abbondanti sono i cristalli di cloritoide in aggregati raggiati. La tessitura è scistoso-pieghettata. Si individuano due scistosità con direzioni grosso modo perpendicolari fra loro: S_1 , che rappresenta la vecchia scistosità, ed S_2 che si è instaurata a seguito del ripiegamento della S_1 .

I **componenti mineralogici principali** sono: mica chiara, quarzo, albite, cloritoide, clorite. Tra gli accessori si rinvencono: tormalina, sostanza opacitica, ossidi di titanio, ematite, monazite.

La *mica chiara* si presenta in diverse situazioni microstrutturali: a) sotto forma di sericite lungo i piani di scistosità S_1 ; b) in lamelle cristallizzate lungo i piani di scistosità S_2 ; c) in lamelle di maggiori dimensioni, non orientate, che raggiungono il massimo sviluppo lungo il bordo delle lenti granoblastiche. L'analisi in microsonda elettronica ha permesso di stabilire, per questa mica chiara, una composizione phengitica.

Il *quarzo* si presenta in granuli di piccole dimensioni all'interno dei livelli lepidoblastici, oppure forma lenti nelle quali cristallizza in individui di maggiori dimensioni.

L'*albite* costituisce, assieme al quarzo, la componente granoblastica della roccia.

Il *cloritoide* è presente in: a) singoli cristalli a sezioni rettangolari, la cui orientazione può essere sia parallela che trasversale a S_2 ; b) in aggregati raggiati. In entrambi i casi (a, b) tali cristalli rivelano al loro interno scie di inclusioni opacitiche concordanti con la S_1 .

La *clorite* si trova in due principali contesti microstrutturali: a) in lamelle orientate parallelamente alla S_1 , ma di dimensioni notevolmente maggiori rispetto a quelle della massa di fondo; b) in lamelle non orientate, a contatto con gli aggregati raggiati o con singoli individui di cloritoide.

Nel campione JS10 sono presenti, lungo la S_2 , piccole lamelle a sezione rettangolare con il tipico pleocroismo sui toni bruni della *biotite*. L'analisi in microsonda ha fornito per

queste lamelle contenuti in potassio di circa il 6%, indicanti la presenza di biotite in via di cloritizzazione.

Sulla base dello studio microstrutturale è possibile riconoscere per queste metapeliti la seguente **evoluzione metamorfico-deformativa**:

- un primo evento deformativo Def_1 ha determinato la cristallizzazione Cr_1 di mica chiara, quarzo e probabilmente albite lungo piani di scistosità S_1 ;
- un secondo evento deformativo Def_2 ha causato il ripiegamento di S_1 e la concomitante blastesi ha prodotto l'anisotropia planare S_2 con cristallizzazione di mica chiara, clorite e cloritoide, che è perdurata anche dopo il cessare delle deformazioni.

Per quanto riguarda le condizioni termiche del metamorfismo (che è di età alpina), l'associazione mineralogica presente nelle metapeliti degli Jasov Beds indica condizioni di grado metamorfico intermedio (zona della biotite). Uno studio del b_0 della muscovite condotto da MAZZOLI *et al.* (1992) ha permesso di stimare per tale metamorfismo alpino condizioni di alta pressione (gradiente termico di $10^\circ\text{C}/\text{Km}$).

6.4.2 Le metabasiti

6.4.2.1 Gruppo di alta temperatura

ILE DE GROIX

In questo campione è presente una struttura eteroblastica porfiroblastica dovuta alla presenza di porfiroblasti di granato e di cristalli prismatici di glaucofane che spiccano su una massa di fondo a grana media. La struttura è inoltre caratterizzata dalla presenza di bande costituite prevalentemente da epidoti e di bande costituite da anfibolo e mica chiara. Lungo queste ultime s'individua inoltre una orientazione preferenziale della mica chiara e dell'anfibolo.

I **componenti principali** sono: glaucofane, mica chiara, epidoto, granato, orneblenda, quarzo, albite, clorite. Tra gli accessori troviamo: ilmenite, ossidi di ferro.

Il *glaucofane* si presenta in individui prismatici dal tipico pleocroismo incolore - azzurro oltremare - azzurro lavanda, spesso zonati. Tali individui possono a volte essere tendenzialmente orientati secondo una direzione preferenziale parallela alla scistosità. A volte sono evidenti alle estremità dei cristalli prismatici di glaucofane bordi di orneblenda (composizioni confermate dalla microsonda elettronica). Raramente si rinvencono cristalli di anfiboli nei quali anche il nucleo è diventato di orneblenda.

La *mica chiara* cristallizza in lepidoblasti incolori, di grandi dimensioni, a sezione rettangolare. Essa può trovarsi isorientata con l'anfibolo, oppure molto frequentemente in aggregati a struttura decussata localizzati nelle bande epidotiche. L'analisi in

microsonda ha permesso di stabilire la composizione phengitica di questa mica chiara.

Il *granato* è presente in porfiroblasti euedrali con diametro mediamente di 25µm, sia in letti micacei che in letti quarzosi. Tali porfiroblasti includono: granuli di quarzo, piccole lamelle di muscovite, prismetti di glaucofane. L'analisi in microsonda elettronica ha rivelato che tali granati sono miscele ricche in almandino. Il granato può presentare processi di cloritizzazione talvolta molto spinti.

L'*epidoto* appare in cristalli di diverse dimensioni con il caratteristico pleocroismo incolore - giallo, tipico dei termini che contengono ferro.

L'*orneblenda* si rinviene, oltre che associata intimamente ai cristalli prismatici di glaucofane, come sopra detto, anche in piccoli cristalli non orientati riconoscibili per il tipico pleocroismo sui toni del verde azzurro - verde chiaro - giallo pallido.

Il *quarzo* può trovarsi come incluso nel granato oppure formare lenti granoblastiche.

La *clorite* cristallizza in rare lamelle (200µm in lunghezza) a sezione rettangolare, o pseudomorfa su granato.

L'analisi microstrutturale non consente di riconoscere una **evoluzione metamorfico-deformativa** per mancanza di sicuri termini di riferimento: infatti l'abbondante cristallizzazione postcinematica, che interessa massicciamente tutte le fasi, ha obliterato ogni possibile "marker" di situazioni precedenti salvo una struttura a bande compositivamente diversa.

L'analisi delle compatibilità mineralogiche permette di riferire questa roccia alla parte di più alta temperatura della facies degli scisti verdi glaucofonitici, di transizione verso la facies delle anfiboliti ad albite+epidoto.

7. CHIMISMO DELLE CLORITI METAMORFICHE: DATI TRATTI DALLA LETTERATURA

Dopo la selezione effettuata applicando i diversi "filtri" (vedasi CAP. 5.1), tutte le 450 analisi chimiche considerate valide sono state suddivise in diverse categorie con l'obiettivo di riconoscere l'influenza esercitata dalle condizioni chimico-fisiche ambientali di cristallizzazione, sulla composizione della clorite, e precisamente:

- I) l'effetto della composizione della roccia totale (gruppi di analisi A, B, C, rispettivamente cloriti da metapeliti, da metabasiti, e da rocce felsiche);
- II) l'effetto della pressione (gruppi di analisi LP, MP, HP, rispettivamente cloriti da rocce di bassa, media, alta pressione);
- III) l'effetto della temperatura (gruppi di analisi T=0, T=1, T=2, T=3, T=4, T=5, corrispondenti, rispettivamente, a cloriti di rocce riferibili ai seguenti gradi metamorfici: facies zeolitica, anchizona, zona della clorite, zona della biotite, zona del granato, facies anfibolitica).

Si ricorda che per le rocce felsiche sono state prese in considerazione solo analisi chimiche di metavulcaniti e di charnockiti, tralasciando le analisi riferibili a metapsammiti.

Le abbreviazioni dei nomi dei minerali sono quelle suggerite da KRETZ (1983). Le sigle sopra indicate per i vari gruppi sono usate sia nel testo che nell'Appendice.

Tutte le analisi disponibili, espresse in a.f.u. con formula basata su 28 O, sono state proiettate nei seguenti diagrammi:

- *diagramma $Al^{VI}+2Ti+Cr$ vs. Al^{IV}* : permette di visualizzare sia l'entità della sostituzione TK che quella della sostituzione AM. La prima è indicata dalla distanza lungo la freccia dal punto con coordinate $x=2$, $y=2$, che rappresenta il termine estremo ("end-member") clinocloro - chamosite: $[Mg,Fe^{2+}]_{10}Al^{3+}_2[Al^{VI}(Si_6Al_2)IVO_{20}OH_{16}]$. Quanto alla seconda: i) i punti che cadono sulla freccia rappresentano cloriti in cui non è presente una sostituzione diottaedrica, ii) i punti che cadono nel campo soprastante la freccia rappresentano cloriti in cui è avvenuta una sostituzione diottaedrica, che è tanto maggiore quanto maggiore è la distanza dalla freccia, iii) i punti che cadono nel campo sottostante la freccia rivelano la presenza di altri ioni trivalenti, come ad es. il Fe^{3+} , nella struttura della clorite, in misura tanto maggiore quanto maggiore è la distanza dalla freccia;

- *il diagramma Mg^{2+} vs. Fe^{2+}* : permette di visualizzare la sostituzione $FeMg_{-1}$. E' importante sottolineare che il Fe^{2+} rappresenta in realtà il Fe_{tot} , poichè questi dati

chimici tratti dalla letteratura si riferiscono tutti ad analisi di cloriti effettuate con la microsonda elettronica.

- *diagramma classificativo di HEY (1954);*

- *triangolo classificativo di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996).*

Precisando che non è stato possibile distinguere le cloriti di varie associazioni mineralogiche, né tantomeno quelle di associazioni limitanti da quelle di associazioni non limitanti, l'analisi visuale di questi diagrammi ha consentito di riconoscere alcuni comportamenti sistematici, che vengono qui di seguito descritti.

I) Effetto della composizione della roccia totale. Nella FIG. 7.1 sono state proiettate tutte le analisi relative alle metapeliti (quadrati pieni: gruppo A), metabasiti (quadrati vuoti: gruppo B), rocce felsiche (rombi pieni: gruppo C), senza però fare distinzioni basate sulla P e T. Gli intervalli considerati in ascissa ed ordinata si riferiscono all'intervallo massimo di sostituzione del Si con Al^{IV} utilizzato da HEY (1954) nel suo diagramma classificativo (vedasi paragrafo 3.3.1). Dalla figura sopra citata, è evidente che l'entità della sostituzione AM non presenta differenze significative tra cloriti di metapeliti (quadrati pieni) e cloriti di metabasiti (quadrati vuoti); invece i pochi punti rappresentativi delle cloriti di rocce felsiche (rombi pieni) cadono vicino alla freccia, indicando un minore grado di sostituzione diottaedrica (AM). L'entità della sostituzione TK presenta i valori più alti nelle cloriti delle metapeliti (quadrati pieni): infatti la maggior parte di questi punti risulta più distante dal punto di coordinate $x=2, y=2$ (corrispondente al termine estremo clinocloro-chamosite), rispetto alle delle cloriti dei gruppi B e C. La maggior parte dei punti rappresentativi delle cloriti delle metabasiti mostra infatti minori entità della sostituzione TK rispetto alle cloriti delle metapeliti. Va in particolare segnalato che gli assi passanti rispettivamente per 2.5 del valore in ascissa e 2.5 di quello in ordinata discriminano la stragrande maggioranza dei punti delle cloriti delle metapeliti (che si collocano nell'area a valori più alti) da quelli delle metabasiti (che si collocano a valori più bassi). Per quanto riguarda le cloriti delle rocce felsiche, la loro composizione si differenzia da quella della maggior parte delle cloriti delle metapeliti dato che, come si può notare in FIG. 7.1, i loro punti rappresentativi coprono grosso modo lo stesso intervallo di sostituzione tschermakitica delle metabasiti.

Con riferimento all'insieme delle analisi di FIG.7.1, è possibile affermare che, dai dati analitici di cloriti metamorfiche in mio possesso, il contenuto in Al^{IV} è compreso tra 1.42 (valore trovato in SCHLIESTEDT *et. al.*, 1994) e 3.085 (valore trovato in LANG & RICE, 1985), intervallo che per il 96% delle analisi si restringe a 1.5 - 3.0. L'intervallo di variazione dell' Al^{IV} così individuato risulta inferiore rispetto al corrispondente campo

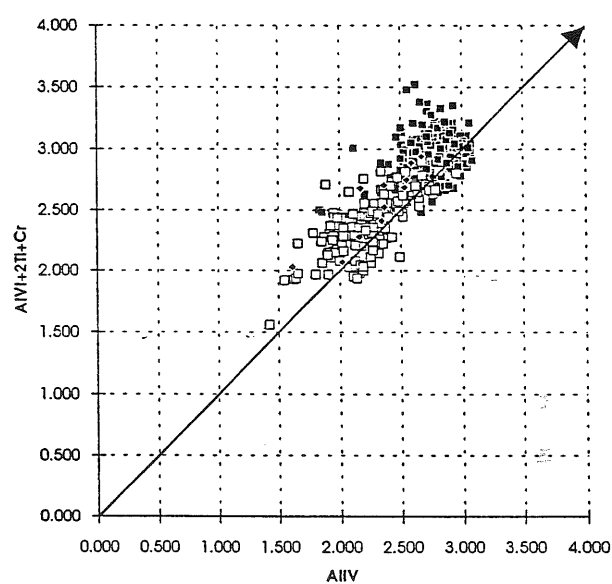
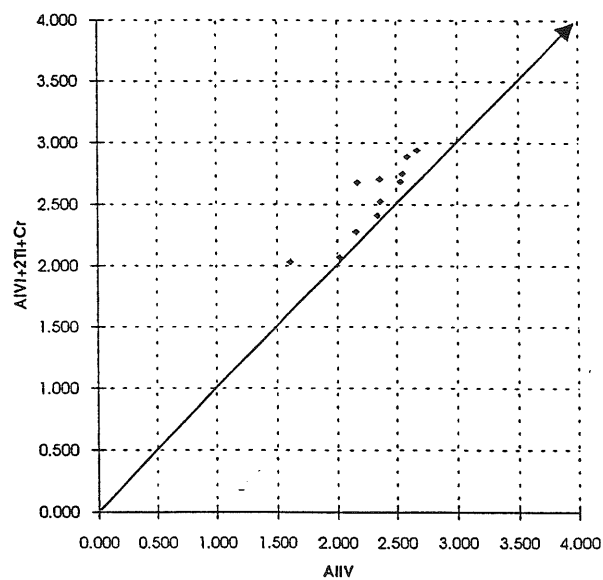
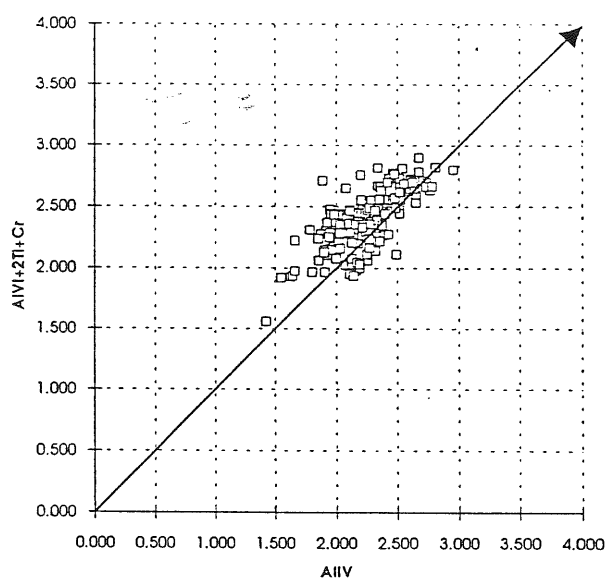
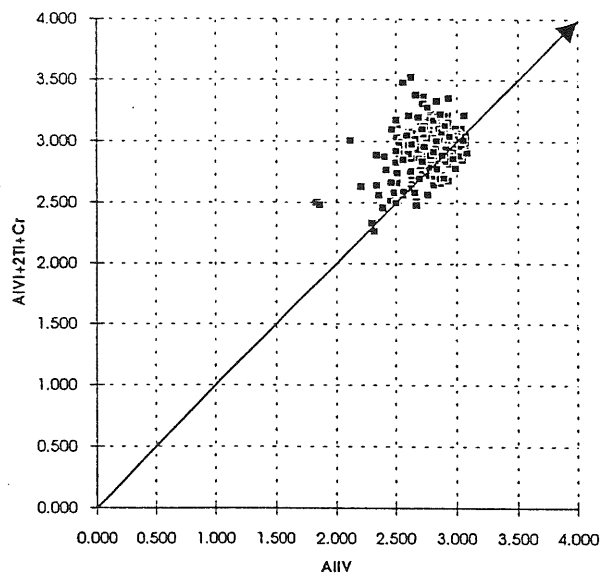


FIG. 7.1a,b,c,d. Caratteri chimici di cloriti di metapeliti (quadrati pieni), di metabasiti (quadrati vuoti) e di rocce felsiche (rombi pieni) di varie temperature e pressioni.

individuato da FOSTER (1962) sulla base dei contenuti in Si. Se poi distinguiamo i gruppi di cloriti a secondo della composizione della roccia (gruppi A, B, C), si individuano i seguenti intervalli per l' Al^{IV} :

cloriti di metapeliti: 1.84 (valore trovato in BLACK, 1975) - 3.08 (valore trovato in LANG & RICE, 1985); se trascuriamo il dato di BLACK (1975), che si discosta significativamente da tutte le altre analisi sia per i contenuti di Al^{IV} che di Al^{VI} , l'intervallo resta definito fra 2.21 (valore trovato in MPOSKOS & LIATI, 1993) e 3.08 (in LANG & RICE, 1985);

cloriti di metabasiti: 1.42 (valore trovato in SCHLIESTEDT *et al.*, 1994) - 2.95 (valore trovato in SPEAR, 1982);

cloriti di rocce felsiche: 1.62 (valore trovato in RAO, 1977) - 2.67 (valore trovato in CARMIGNANI *et al.* 1982).

Per quanto riguarda la sostituzione FM, appare chiaro dalla FIG. 7.2 che per tutti e tre i litotipi (A, B, C) esiste un'ampia variabilità in termini di Fe e Mg. Volendo escludere le due analisi estreme per gli alti contenuti in Mg riferibili al caso particolare di cloriti di metapeliti in associazione con Tlc+Ky (SCHREYER & ABRAHAM, 1976), è possibile affermare che i contenuti più alti di Mg si riferiscono a cloriti di metabasiti, mentre i contenuti più alti di Fe si riferiscono a cloriti di metapeliti, tranne un caso di clorite di metabasite (MARUYAMA & LIOU, 1985) estremamente ricco in Fe. Globalmente la grande maggioranza dei punti rappresentativi in FIG. 7.2 copre un intervallo confrontabile tra ciascuno litotipo.

L'ampia variabilità compositiva, soprattutto in termini di Fe e Mg, tra le cloriti dei tre diversi litotipi risulta evidente anche : a) nel diagramma classificativo di HEY (1954) ; b) nei triangoli classificativi di WEISS, (1991) e ZANE & WEISS, (1996).

Infatti, con riferimento alle FIG. 7.3 e FIG. 7.4:

a) la maggior parte delle analisi delle cloriti delle metapeliti (quadrati pieni), cade nel campo delle ripidoliti (FIG. 7.3), mentre le cloriti delle metabasiti (quadrati vuoti) cadono in gran parte nel campo delle picnocloriti, sebbene molti punti si trovino nel campo delle ripidoliti. Le cloriti di rocce felsiche (rombi pieni) si trovano per lo più localizzate vicino al limite tra ripidoliti e picnocloriti. Inoltre, alcuni punti relativi a cloriti di varia provenienza (sia di metabasiti che di metapeliti che di rocce acide) sono dispersi in quasi tutti i campi del diagramma, tranne quello della daphnite;

b) il diagramma di FIG. 7.4 mette bene in evidenza la tendenza delle cloriti delle metabasiti (quadrati vuoti) ad essere tendenzialmente più magnesifere e più povere in $X = Al^{VI} + \square$ delle cloriti delle metapeliti (quadrati pieni), mentre le cloriti delle rocce felsiche (rombi) sono tendenzialmente più ricche di Fe delle cloriti delle metabasiti, ma

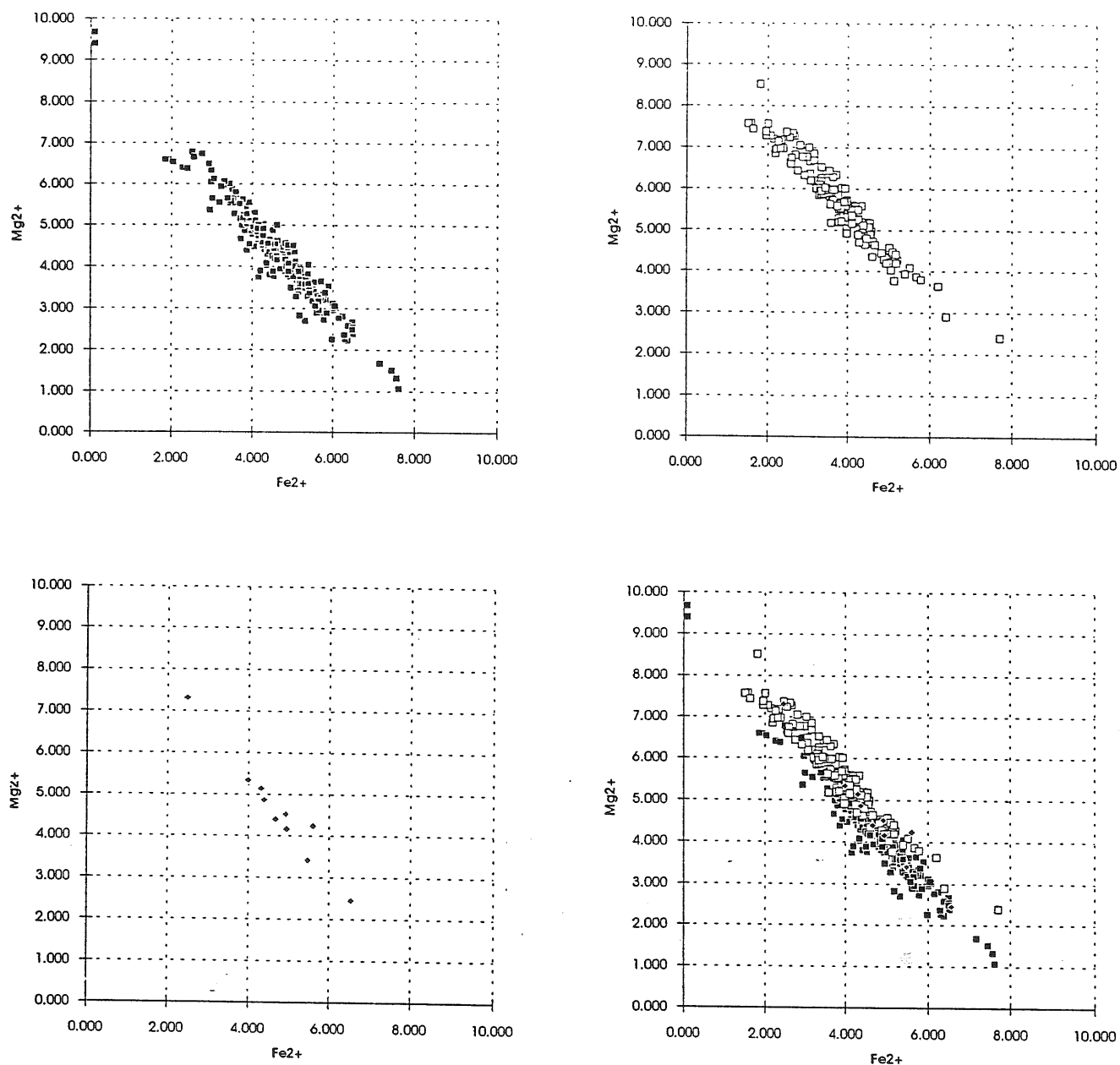


FIG. 7.2a,b,c,d. Caratteri chimici di cloriti di metapeliti (quadrati pieni), di metabasiti (quadrati vuoti) e di rocce felsiche (rombi pieni) di varie temperature e pressioni.

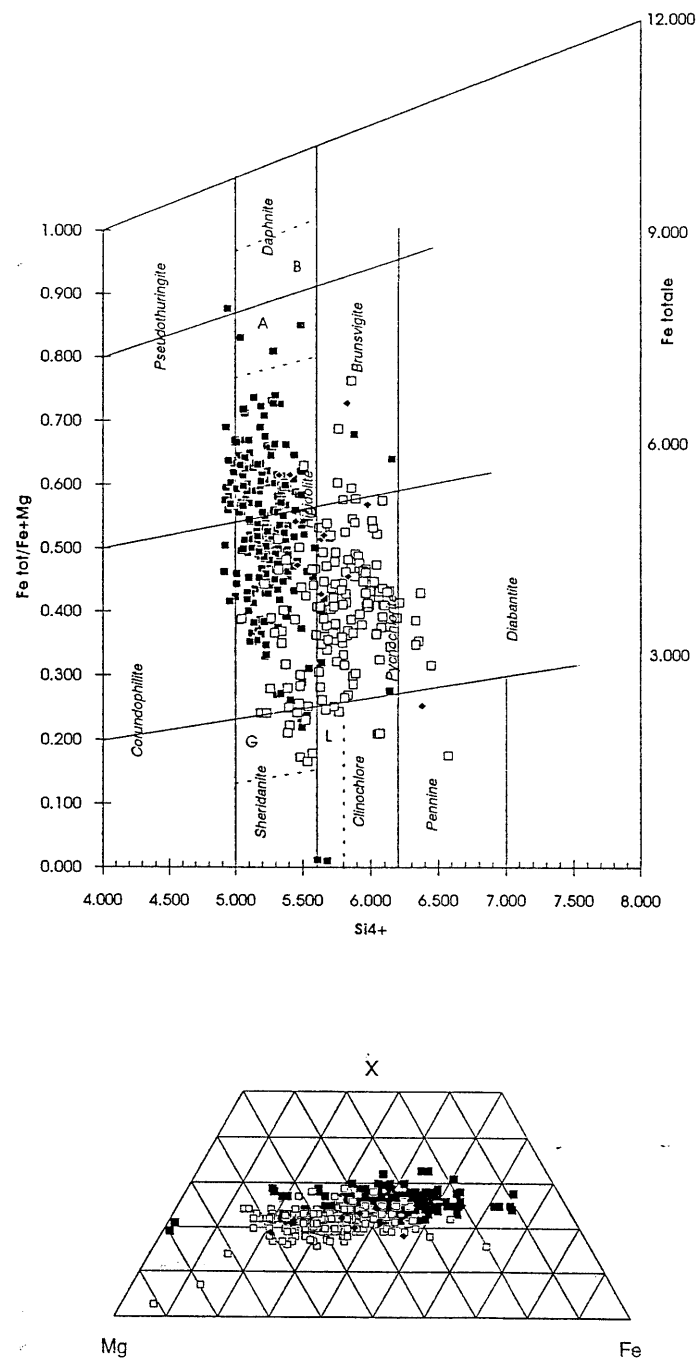


FIG. 7.3 e 7.4. Caratteri chimici di cloriti di metapeliti (quadrati pieni), di metabasiti (quadrati vuoti) e di rocce felsiche (rombi pieni) di varie temperature e pressioni.

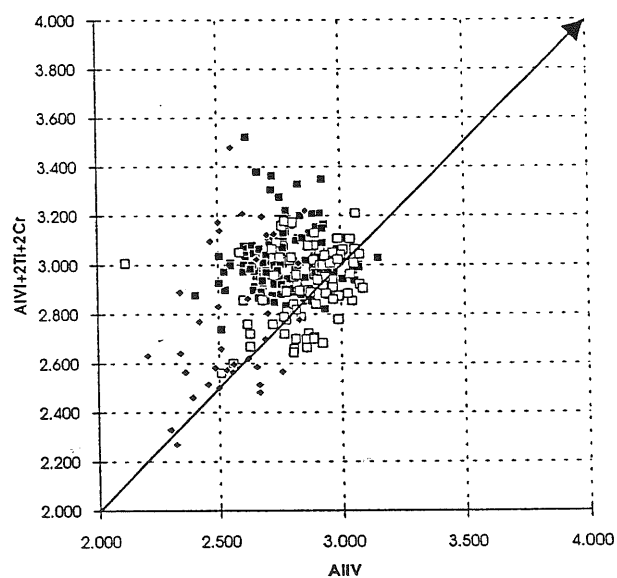
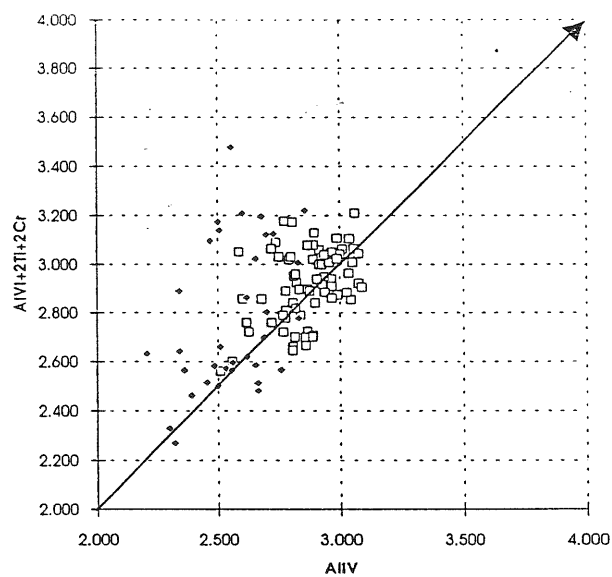
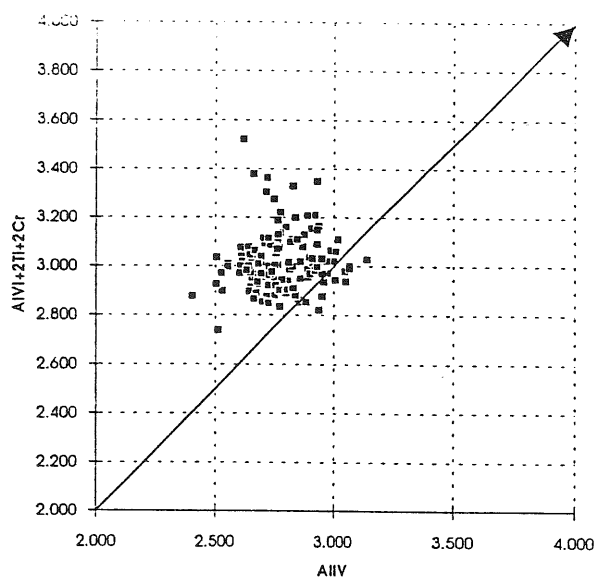


FIG. 7.5a,b,c. Caratteri chimici di cloriti di metapeliti di bassa (quadrati pieni), intermedia (quadrati vuoti) e alta (rombi pieni) pressione, e di vario grado metamorfico.

meno ricche di $Al^{VI} + \square$ delle cloriti delle metapeliti.

II) Effetto della pressione. Nell'ambito di ogni singolo litotipo ho cercato di evidenziare l'eventuale effetto della pressione sull'entità delle sostituzioni TK, AM, FM con l'ausilio degli stessi diagrammi Al^{IV} vs. $Al^{VI}+2Ti+Cr$ e Fe^{2+} vs. Mg^{2+} . L'intervallo compositivo in ascissa ed ordinata nei vari diagrammi è l'intervallo convenzionale da me proposto per le cloriti di metapeliti e per quelle di metabasiti sulla base dell'analisi di questa banca dati. Per le rocce felsiche (metavulcaniti e charnockiti) l'intervallo proposto è lo stesso delle metapeliti. In realtà per le metapeliti poteva essere usato un intervallo ancora più ristretto, ma ciò avrebbe comportato la perdita della proporzionalità tra grafici "d'insieme" delle metapeliti e grafici "d'insieme" delle metabasiti. Ricordando che le sigle LP, MP, HP indicano rispettivamente cloriti di bassa pressione, media pressione ed alta pressione, la distribuzione dei punti rappresentativi nei vari diagrammi indica quanto segue.

In metapeliti. Dalla FIG. 7.5 si nota che le cloriti HP (rombi pieni), benché molto disperse, occupano un'area definibile in termini di minori valori di Al^{IV} rispetto alle cloriti di LP e MP (rispettivamente quadrati pieni e vuoti). Questi due ultimi gruppi di cloriti occupano grosso modo la stessa fascia di contenuti di Al^{IV} , l'area delle cloriti LP è comunque slittata verso più alti valori di ordinata (>2.8). Non si nota invece, in FIG. 7.6, alcuna differenza sistematica nell'entità della sostituzione FM tra cloriti di metapeliti di bassa (quadrati pieni), media (quadrati vuoti) ed alta (rombi pieni) pressione, va notato però la diversa collocazione rispetto alla retta $Fe+Mg=9$ della maggior parte dei punti delle cloriti LP rispetto a quelle MP e HP.

Anche nel diagramma classificativo di HEY (1954) e in quello di WEISS, (1991) e ZANE & WEISS, (1996) si notano alcune differenze compositive delle cloriti in funzione delle condizioni di pressione:

- a) in particolare, in FIG. 7.7 si nota una tendenza alla diminuzione del contenuto in Si dalle cloriti di LP (quadrati pieni) a quelle di MP (quadrati vuoti); le cloriti di HP (rombi pieni) hanno un maggior grado di dispersione e, pur mostrando in molti casi composizione simile a quella delle cloriti di metapeliti di bassa pressione, hanno a volte valori molto più alti di Si e più bassi di $Fe_{tot}/Fe+Mg$;
- b) la FIG. 7.8 mostra un vario grado di dispersione dei punti rappresentativi dei tre gruppi di cloriti. Sembra esistere ai più elevati contenuti in Fe una lieve correlazione positiva tra il contenuto in Fe e $X (=Al^{VI}+\square)$ nelle cloriti di pressione intermedia.

In metabasiti. Anche queste rocce sono state classificate in tre gruppi di pressione, ma diversamente concepiti rispetto alle metapeliti. Precisamente, sono stati organizzati

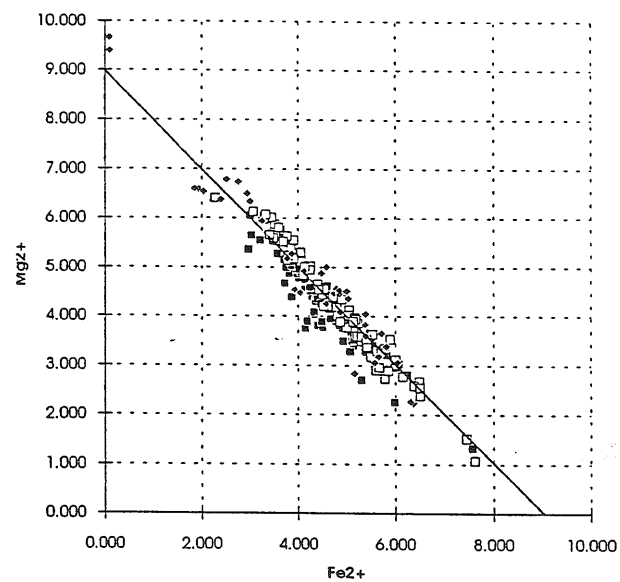
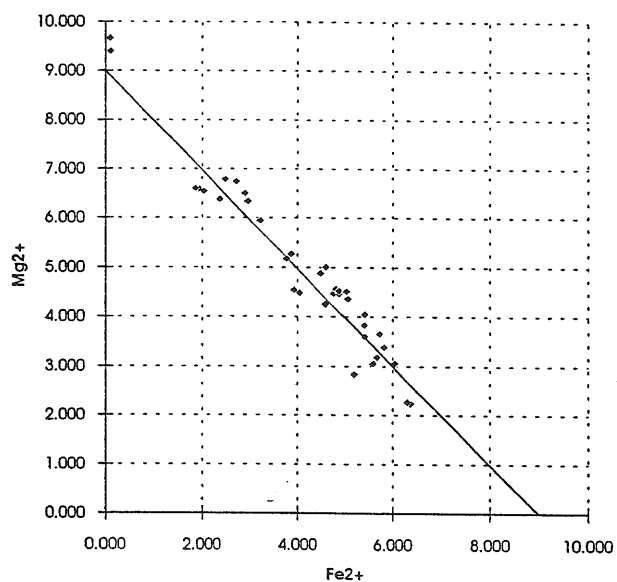
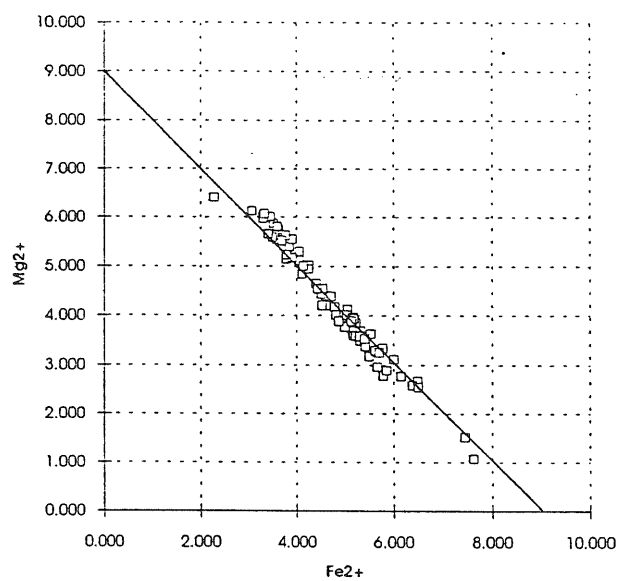
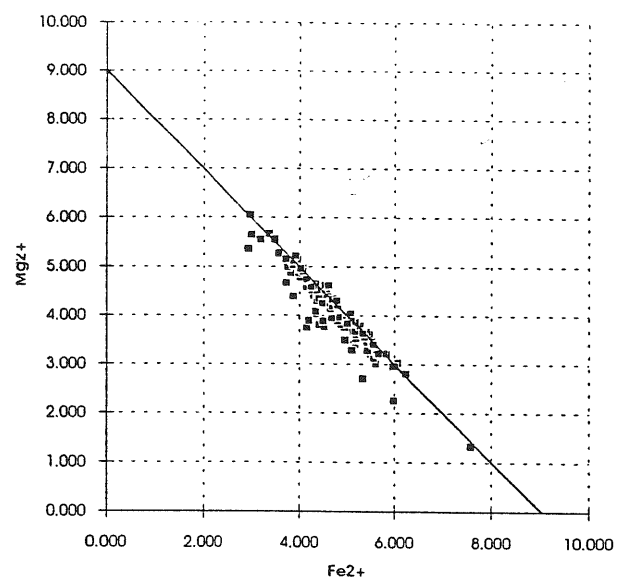


FIG. 7.6a,b,c,d. Caratteri chimici di cloriti di metapeliti di bassa (quadrati pieni), intermedia (quadrati vuoti) e alta (rombi pieni) pressione, e di vario grado metamorfico.

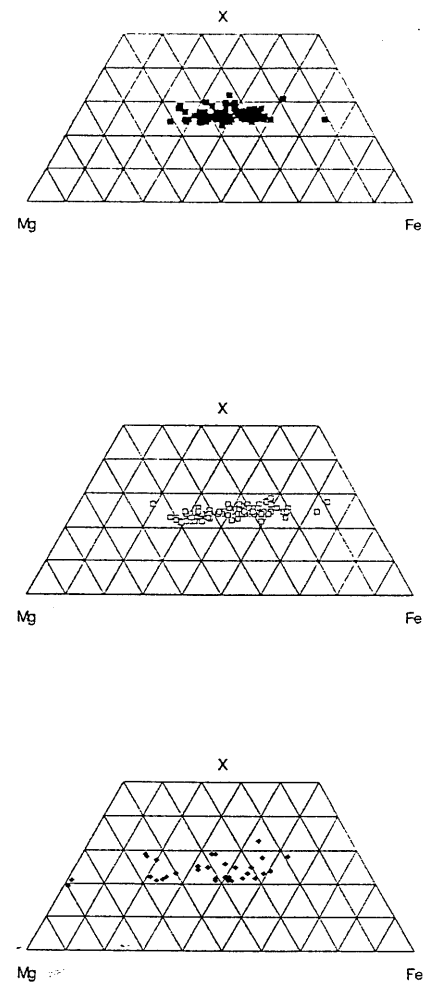
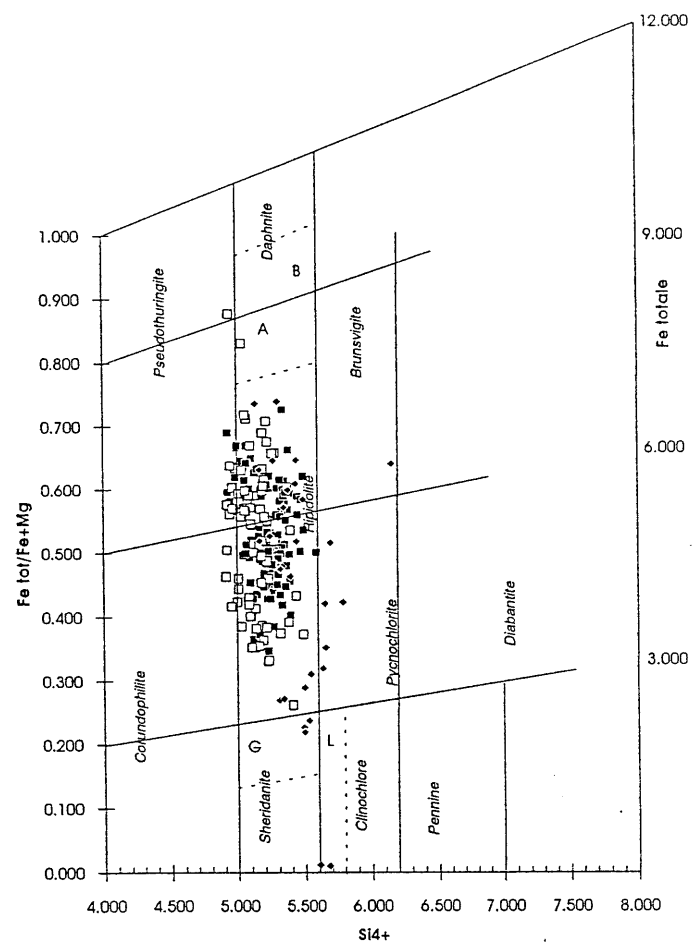


FIG. 7.7 e 7.8. Caratteri chimici di cloriti di metapeliti di bassa (quadrati pieni), intermedia (quadrati vuoti) e alta (rombi pieni) pressione, e di vario grado metamorfico.

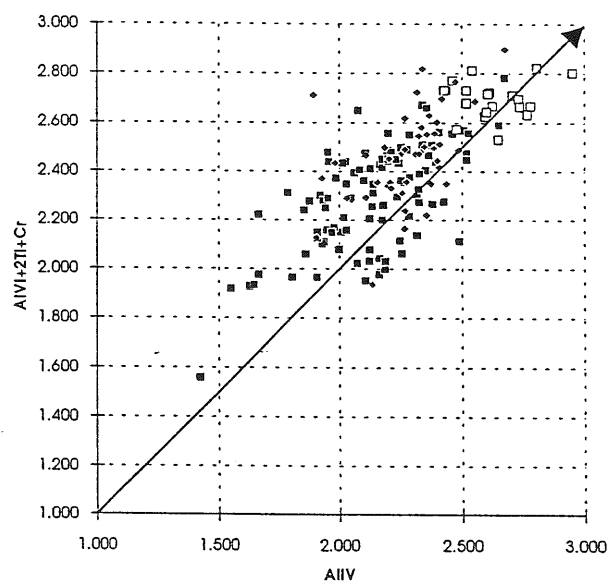
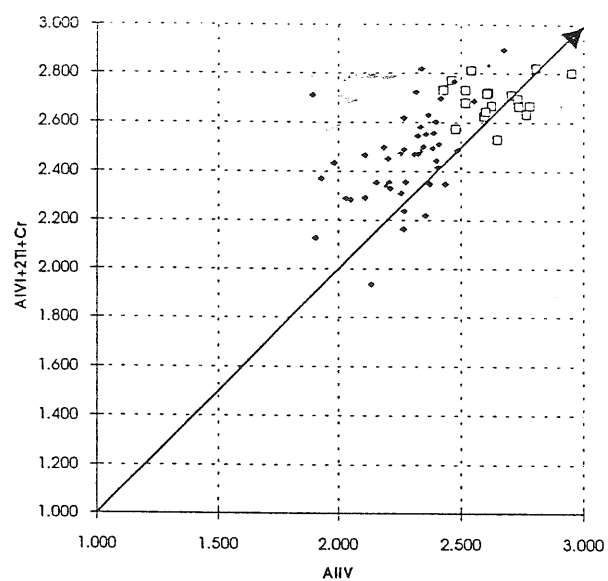
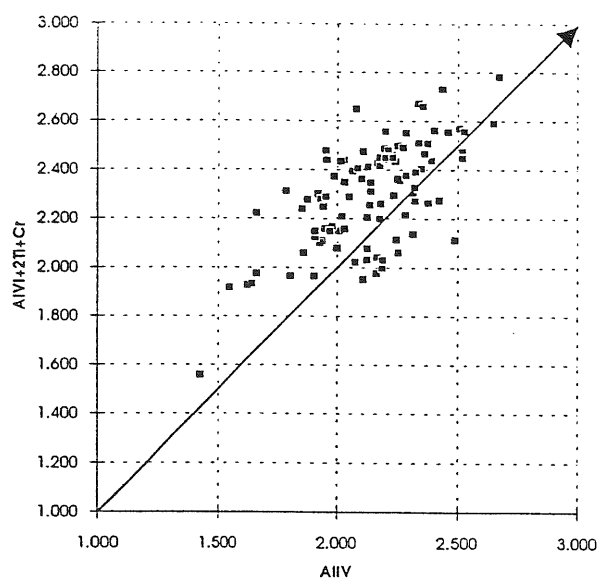


FIG. 7.9a,b,c. Caratteri chimici di cloriti di metabasiti di bassa (quadrati pieni), intermedia (quadrati vuoti) e alta (rombi pieni) pressione, e di vario grado metamorfico.

tre gruppi: un primo gruppo, di pressione da bassa a media, le cui cloriti sono contraddistinte dalla sigla LMP; un secondo gruppo, di pressione intermedia, caratterizzate dall'associazione Chl+Ged+Cum+Hbl (SPEAR, 1982; SELVERSTONE *et al.* 1984; HELMS *et al.*, 1987) e contraddistinto dal simbolo Ip; ed un terzo gruppo, di alta pressione, contraddistinto dal simbolo HP. Dalla FIG. 7.9 si deduce che le cloriti LMP (quadrati pieni) non hanno differenze significative in termini di sostituzione TK e AM rispetto alle cloriti di HP (rombi pieni), anche se nelle prime la sostituzione tschermakitica raggiunge i valori minimi. L'entità della sostituzione TK è invece più alta nelle cloriti di Ip (quadrati vuoti). L'asse passante per il valore di ascissa 2.5 discrimina quasi perfettamente queste ultime cloriti (collocate a valori maggiori) dalle altre.

Passando a considerare la sostituzione FM, nel diagramma di FIG. 7.10 le cloriti di Ip (quadrati vuoti) risultano essere concentrate verso valori elevati di Mg (valori di Mg/Fe sempre nettamente >1). I punti rappresentativi delle cloriti LMP (quadrati pieni), pur sovrapponendosi in parte a quelli delle cloriti di pressione intermedia (quadrati vuoti), mostrano spesso un maggiore contenuto di Fe+Mg soprattutto a valori di Mg alti.

Dai diagrammi di HEY (1954) (FIG. 7.11) e di WEISS (1991) e ZANE & WEISS, (1996) (FIG. 7.12) si possono fare le seguenti osservazioni:

- a) gran parte delle cloriti LMP (quadrati pieni) e HP (rombi pieni) cadono nel campo compositivo delle picnocloriti, mentre buona parte delle cloriti Ip (quadrati vuoti) cadono nel campo delle ripidoliti; le prime, pertanto risultano più ricche in Si delle seconde;
- b) in FIG. 7.12 si notano bene gli alti valori di Mg/Fe delle cloriti Ip, e i valori estremamente bassi di $X = \text{Al}^{\text{VI}} + \square$ di tre cloriti LMP (analisi di BEVINS & MERRIMAN, 1988, e di SCHLIESTEDT *et al.*, 1994).

In rocce felsiche. Le quattro analisi di cloriti di pressione intermedia e le sette analisi riferibili a cloriti di media pressione a disposizione non mi permettono di fare alcuna supposizione circa le differenze compositive della clorite al variare delle condizioni bariche in questo sistema chimico.

III) Effetto della temperatura. L'effetto del grado metamorfico sulla composizione della clorite è stato valutato nell'ambito di ogni singolo litotipo nelle tre diverse condizioni bariche (LP, MP, HP). Vengono considerate dapprima le differenze compositive tra cloriti di facies metamorfiche diverse (facies zeolitica, "sub-greenschist facies"=anchizona, facies degli scisti verdi, facies anfibolitica) e successivamente le differenze compositive delle cloriti cristallizzate nell'ambito della facies degli scisti verdi a temperature crescenti (zona della clorite, zona della biotite, zona del granato).

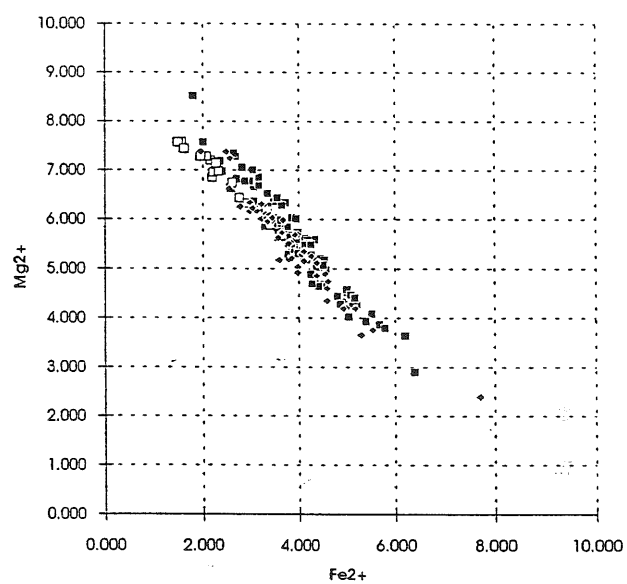
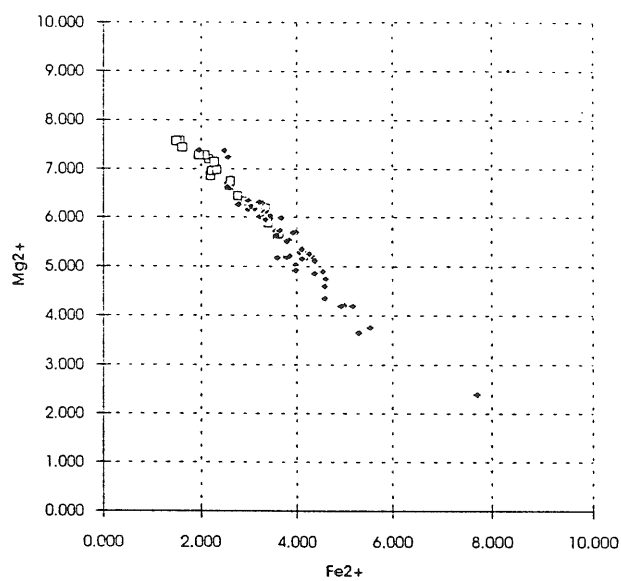
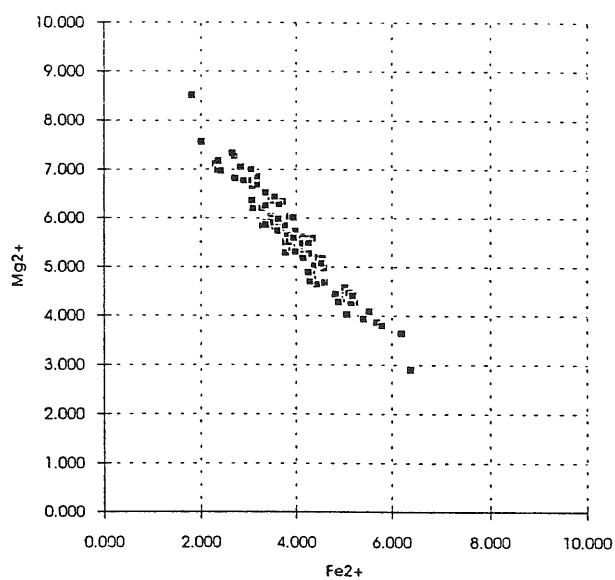


FIG. 7.10. Caratteri chimici di cloriti di metabasiti di bassa (quadrati pieni), intermedia (quadrati vuoti) e alta (rombi pieni) pressione, e di vario grado metamorfico.

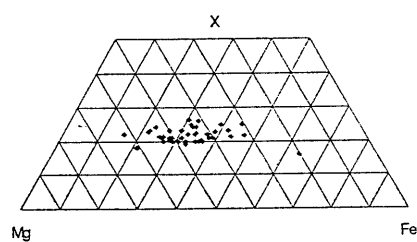
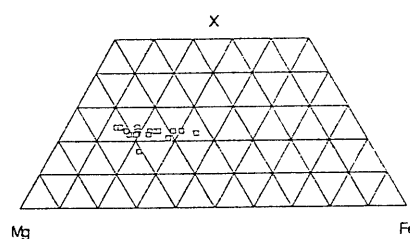
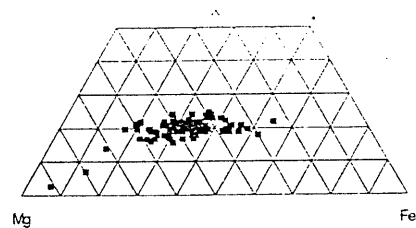
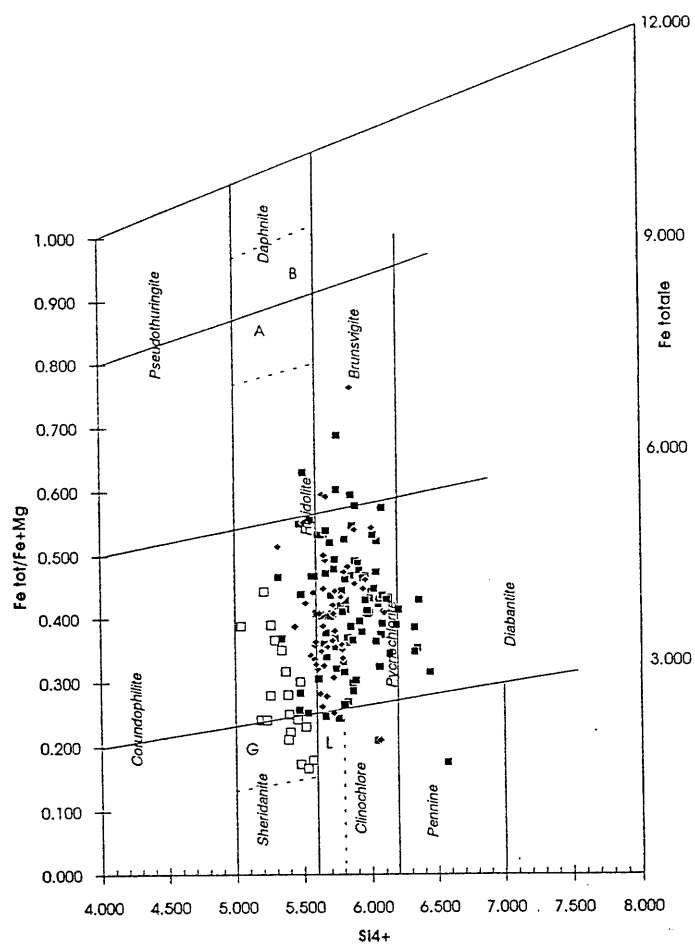


FIG. 7.11 e 7.12. Caratteri chimici di cloriti di metapeliti di bassa (quadrati pieni), intermedia (quadrati vuoti) e alta (rombi pieni) pressione, e di vario grado metamorfico.

In metapeliti di bassa pressione (LP). L'intervallo di variazione della sostituzione TK che si può valutare in FIG. 7.13 risulta grosso modo confrontabile per le cloriti di ciascuna facies metamorfica (anchizona: triangoli pieni; facies degli scisti verdi: x su fondo grisé; facies anfibolitica: cerchietti pieni e vuoti), mentre le cloriti dell'anchizona (triangoli pieni) presentano valori tendenzialmente più alti di AM (ma per parte di essi, in linea di principio, può essere ipotizzabile un "inquinamento chimico" per effetti di interlamellature o di strati misti). Le cloriti in facies degli scisti verdi in associazione con Cld (simbolo +) si presentano concentrate verso valori maggiori di TK e minori di AM rispetto a quelle della facies degli scisti verdi senza Cld (x su fondo grisé). Tra i punti rappresentativi della clorite in facies anfibolitica (cerchietti pieni e vuoti), alcuni si riferiscono a cloriti descritte in letteratura come coesistenti con Cld (cerchietti vuoti): queste cloriti si differenziano dalle cloriti della facies anfibolitica s.s. (cerchietti pieni) per una sostituzione TK più spinta ed una sostituzione AM generalmente minore. Si può in sostanza dire che esse sono in gran parte simili a molte cloriti coesistenti con Cld nella facies degli scisti verdi. Per quanto riguarda la sostituzione FM, le cloriti della facies anfibolitica (cerchietti pieni) presentano contenuti di Mg maggiori delle cloriti della facies degli scisti verdi (FIG. 7.14), mentre le cloriti in "facies anfibolitica" in associazione con Cld (cerchietti vuoti) hanno, per buona parte dei punti rappresentativi, un contenuto in Fe e Mg confrontabile con quello delle cloriti della facies degli scisti verdi. Le cloriti in facies degli scisti verdi con Cld (+) dimostrano una ristretta variabilità compositiva in termini di sostituzione FM. Le cloriti dell'anchizona presentano invece un'ampia variabilità in Fe e Mg e si dispongono lungo una direzione a minori contenuti di Fe+Mg: anche questo aspetto potrebbe rivelare un "inquinamento" del chimismo delle cloriti per effetti di interlamellatura con fillosilicati meno ricchi in femici.

Nel diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 7.15a) le cloriti di metapeliti di bassa pressione cadono quasi tutte nel campo delle ripidoliti, tranne pochi punti che vanno nel campo delle pseudothuringiti. A grandi linee si può dire che le cloriti di metapeliti in facies degli scisti verdi con o senza Cld (simboli + e x) tendono ad occupare il sottocampo a più alti contenuti in Fe dell'area delle ripidoliti, mentre le cloriti di metapeliti in facies delle anfiboliti (cerchietti pieni) occupano il sottocampo a più bassi contenuti in Fe dell'area delle ripidoliti, se si eccettuano quelle in associazione col Cld (cerchietti vuoti) che, come già visto prima, risultano ricche in Fe e quindi cadono nello stesso sottocampo delle cloriti della facies degli scisti verdi.

Anche il diagramma di FIG. 7.15b mostra una certa differenziazione, sia pur non marcata, delle aree di distribuzione dei punti rappresentativi di cloriti appartenenti a

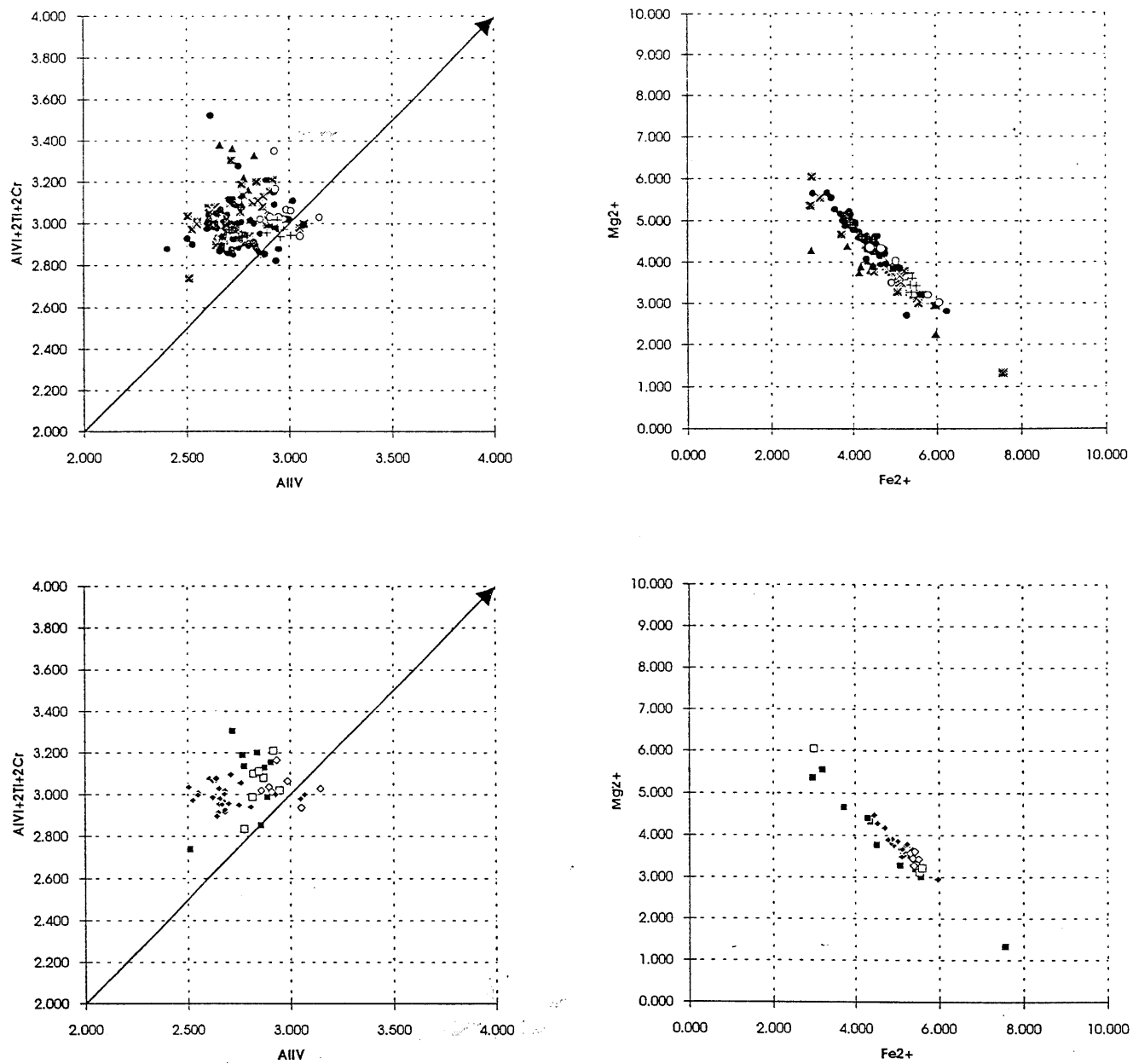


FIG. 7.13 e 7.14 (in alto). Caratteri chimici di cloriti di metapeliti di bassa pressione, di vario grado metamorfico: anchizona (triangoli pieni), facies degli scisti verdi (x su fondo grisé), facies degli scisti verdi con cloritoide (+), "facies anfibolitica" con cloritoide (cerchietti vuoti), facies anfibolitica (cerchietti pieni).

FIG. 7.16a,b (in basso). Caratteri chimici di cloriti di metapeliti di bassa pressione della facies degli scisti verdi: zona della clorite (quadrati pieni), zona della biotite (quadrati vuoti), zona del granato.

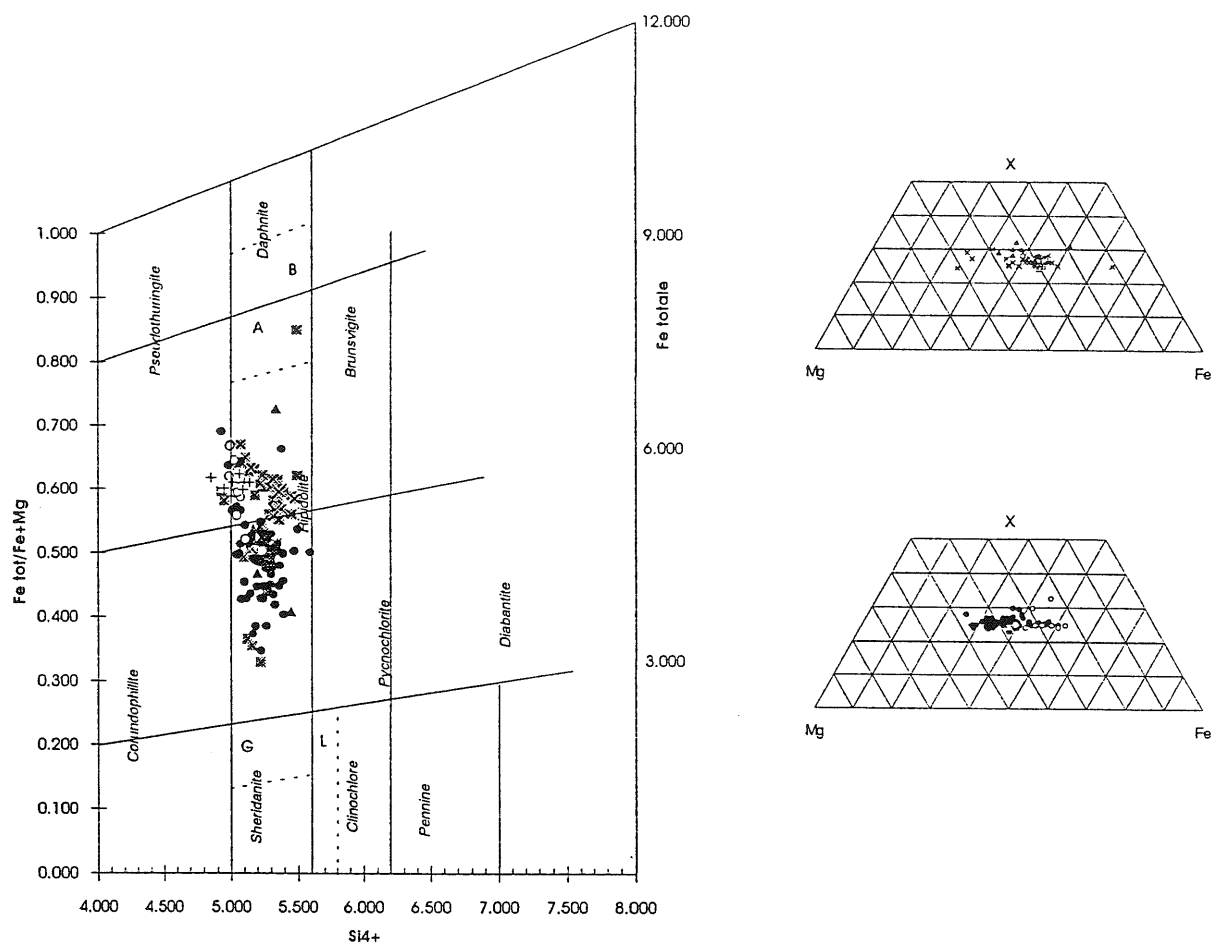


FIG. 7.15. Caratteri chimici di cloriti di metapeliti di bassa pressione, di vario grado metamorfico: anchizone (triangoli pieni), facies degli scisti verdi (x su fondo grisé), facies degli scisti verdi con cloritoide (+), "facies anfibolitica" con cloritoide (cerchietti vuoti), facies anfibolitica (cerchietti pieni).

facies diverse.

Passo ora ad esplorare con maggior dettaglio le cloriti nell'ambito della facies degli scisti verdi (FIG. 7.16a,b). Il diagramma di FIG. 7.16a mostra che la sostituzione TK sembra diminuire dalle cloriti di bassa temperatura (zona della clorite: quadrati pieni, e zona della biotite: quadrati vuoti) verso quella di più alta temperatura (zona del granato: rombi pieni). Tuttavia, quando in queste ultime rocce compare cloritoide, le cloriti (rombi vuoti) diventano più ricche in TK cadendo nella stessa area di dispersione delle cloriti di più bassa temperatura. Non si individuano invece differenze compositive in termini di sostituzione AM tra cloriti delle varie zone termiche. L'intervallo di variazione del Fe^{2+} e del Mg^{2+} risulta (FIG. 7.16b): a) ampio per le cloriti della zona della clorite (quadrati pieni) e della zona della biotite (quadrati vuoti), anche se la maggior parte di questi ultimi punti tendono a concentrarsi verso l'estremità più ricca in Fe di tale intervallo; b) più ristretto per le cloriti della zona del granato (rombi pieni).

In metabasiti di bassa e media pressione (LM_p e Ip). Nella FIG. 7.17 sono state proiettate tutte le analisi relative alle cloriti della facies zeolitica, anchizona, facies degli scisti verdi, facies anfibolitica. Le cloriti della facies zeolitica e dell'anchizona (triangoli vuoti e triangoli pieni) in gran parte cadono al di sopra della freccia, indicando la presenza di un certo grado di sostituzione AM; le cloriti della facies degli scisti verdi (x su fondo gris ) e quelle della facies anfibolitica (cerchietti pieni) invece, cadono sia sopra che sotto alla freccia, indicando sia una certa entit  della sostituzione AM sia la probabile presenza di Fe^{3+} nei siti ottaedrici. Per quanto riguarda la sostituzione TK, essa risulta pi  spinta nelle cloriti della facies anfibolitica (in associazione con Hbl + Cum + Ged: cerchietti pieni), mentre gran parte dei valori pi  bassi di sostituzione tschermakitica appartengono alle cloriti dell'anchizona. Per quanto riguarda la sostituzione FM (FIG. 7.18), l'intervallo presentato dalle cloriti di ciascun grado metamorfico   alquanto ampio. Tuttavia si pu  notare che le cloriti della facies zeolitica (triangoli vuoti) e quelle della anchizona (triangoli pieni) sono tendenzialmente pi  ricche in Fe rispetto a quelle della facies degli scisti verdi (x su fondo gris ), e decisamente pi  ferriφερε rispetto alle cloriti della facies anfibolitica (cerchietti pieni). Le cloriti della facies degli scisti verdi, a loro volta, in parte si sovrappongono a quelle della facies zeolitica e dell'anchizona, e in parte si distribuiscono lungo una direzione parallela a quella delle cloriti della facies anfibolitica, ma spesso con maggiore contenuto di Fe+Mg rispetto a quest'ultime.

Nel diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 7.19a), la maggior parte dei punti rappresentativi delle cloriti in facies zeolitica (triangoli vuoti), anchizona (triangoli pieni) e della facies degli scisti verdi (x su fondo gris ) cade nel campo delle picnocloriti,

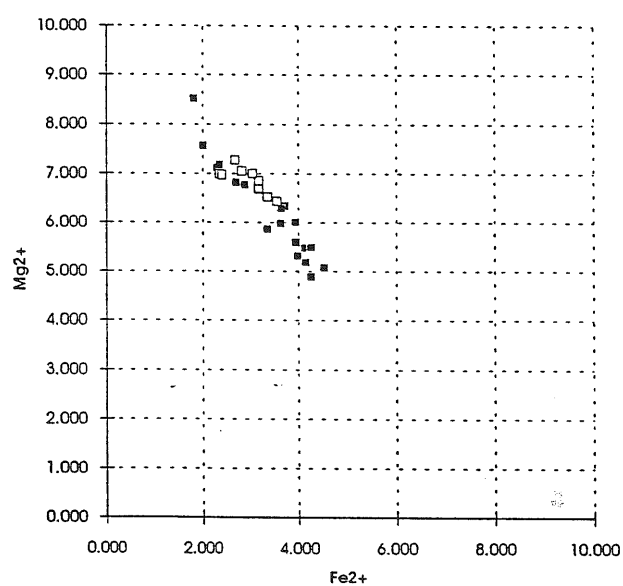
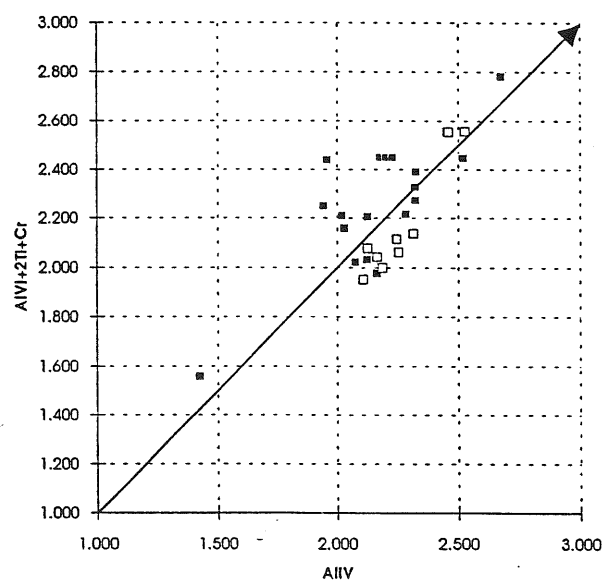
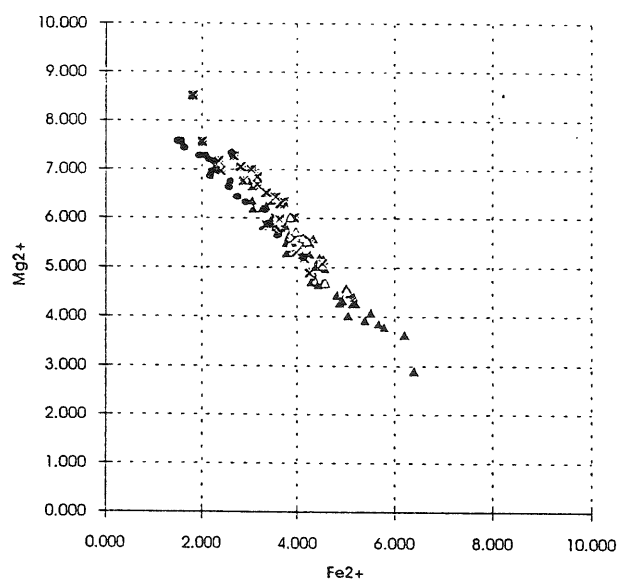
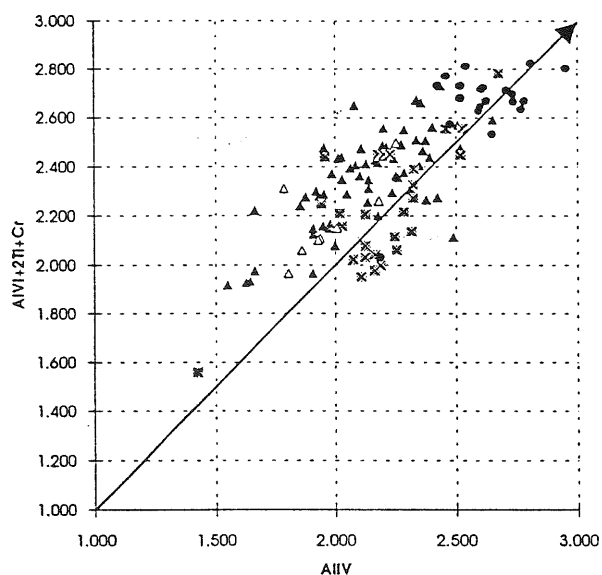


FIG. 7.17 e 7.18 (in alto). Caratteri chimici di cloriti di metabasiti di bassa e media pressione, di vario grado metamorfico: facies zeolitica (triangoli vuoti), anchizona (triangoli pieni), facies degli scisti verdi (x su fondo grisé), facies anfibolitica (cerchietti pieni).

FIG. 7.20a,b (in basso). Caratteri chimici di cloriti di metabasiti di bassa e media pressione in facies degli scisti verdi: zona a clorite-actinolite (quadrati pieni), zona ad albite-orneblenda (quadrati vuoti).

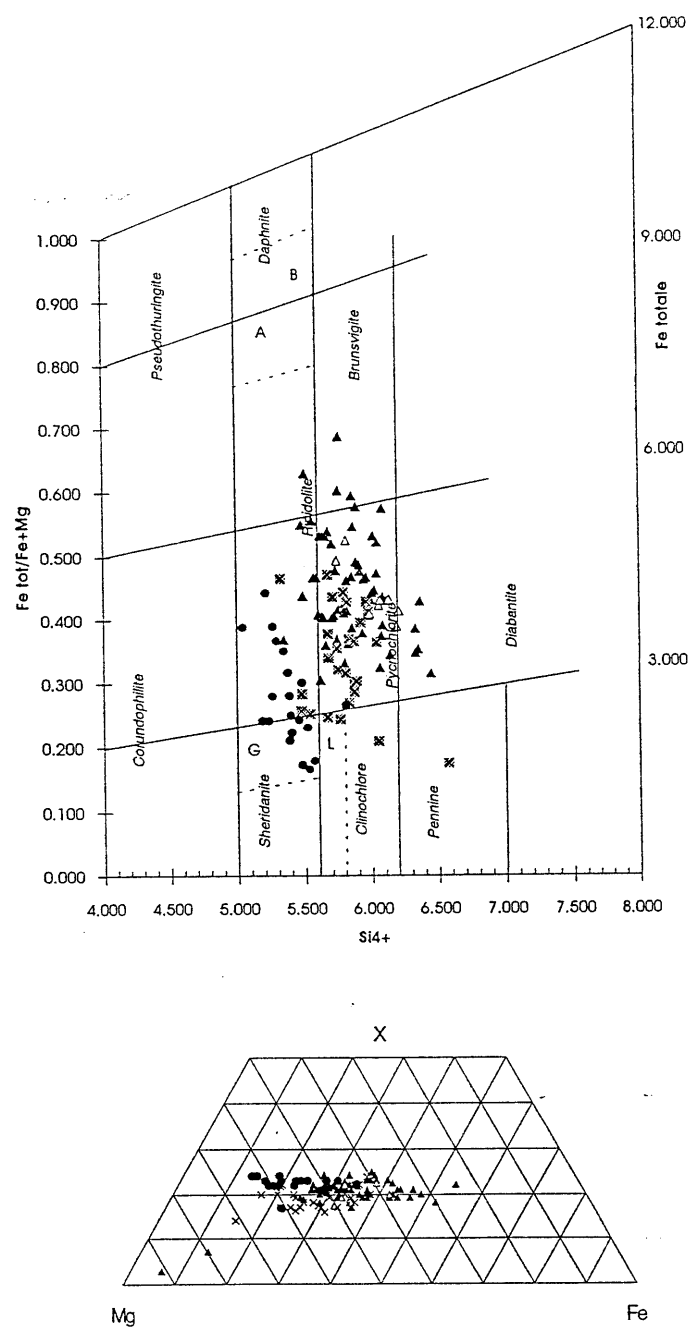


FIG. 7.19a,b. Caratteri chimici di cloriti di metabasiti di bassa e media pressione, di vario grado metamorfico: facies zeolitica (triangoli vuoti), anchizona (triangoli pieni), facies degli scisti verdi (x su fondo grisé), facies anfibolitica (cerchietti pieni).

tranne alcuni punti dispersi nei campi delle ripidoliti, diabantiti (BEVINS & MERRIMAN, 1988), clinoclori e brunsvigiti. Le cloriti della facies anfibolitica (cerchietti pieni), invece, si concentrano nei campi della ripidolite e della sheridanite.

Il diagramma di FIG. 7.19b mostra, in confronto a quelli di FIG. 7.15b, contenuti significativamente minori di $X=Al^{VI}+\square$, come effetto del diverso chimismo della roccia, ma gli intervalli di variazione di Fe/Mg risultano non discriminanti in funzione del grado metamorfico.

Limitando ora l'osservazione esclusivamente alle sole cloriti della facies degli scisti verdi, dai diagrammi di FIG. 7.20 si individua una tendenza delle cloriti della zona a clorite-actinolite (quadrati pieni) a cadere nel campo al di sopra della freccia (che indica presenza di sostituzione AM), ed una tendenza delle cloriti della zona ad albite-orneblenda (quadrati vuoti) a cadere al di sotto della freccia per la probabile presenza di Fe^{3+} . Non si notano invece differenze sistematiche in termini di sostituzioni TK. La FIG. 7.20b mostra che le cloriti della zona a più alta temperatura (zona ad albite-orneblenda: quadrati vuoti) presentano per lo più un maggiore contenuto in Mg^{2+} rispetto alla maggioranza delle cloriti della zona a clorite-actinolite (quadrati pieni), anche se alcune analisi relative a queste ultime presentano i maggiori contenuti di Mg in assoluto.

In rocce felsiche di bassa pressione. La tendenza dimostrata da queste cloriti, per quanto è possibile osservare dall'esiguo numero di dati, è quella di una diminuzione della sostituzione TK all'aumento del grado metamorfico, dalla zona a biotite alla zona a granato della facies degli scisti verdi, mentre non si notano differenze significative nei valori di FM.

In metapeliti di pressione intermedia (MP). Nel diagramma di FIG. 7.21 si nota che i punti rappresentativi delle cloriti di metapeliti in facies degli scisti verdi (x su fondo grisé) tendono a cadere al di sopra della freccia, dimostrando un certo grado di sostituzione AM. I punti rappresentativi della clorite in facies anfibolitica (cerchietti pieni) si trovano invece sia al di sopra che al di sotto della freccia, indicando nel primo caso la presenza di una sostituzione AM e nel secondo la probabile presenza di Fe^{3+} . L'intervallo di variazione della sostituzione TK non mostra invece significative differenze tra le cloriti delle due facies. Per quanto riguarda la sostituzione FM (FIG. 7.22), le cloriti in facies degli scisti verdi (x su fondo grisé) e le cloriti in "facies anfibolitica" in associazione con Cld (cerchietti vuoti), risultano essere più ricche in Fe^{2+} delle cloriti in facies anfibolitica s.s. (cerchietti pieni).

Nel diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 7.23a) gran parte delle cloriti di metapeliti di pressione intermedia cadono nel campo delle ripidoliti, con alcuni punti

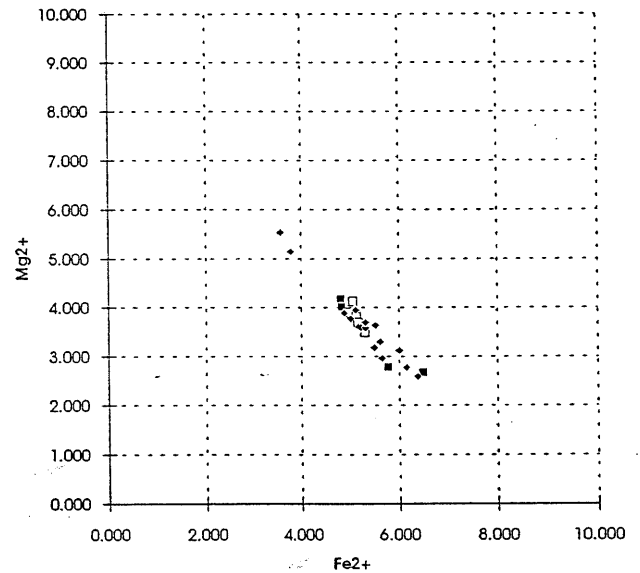
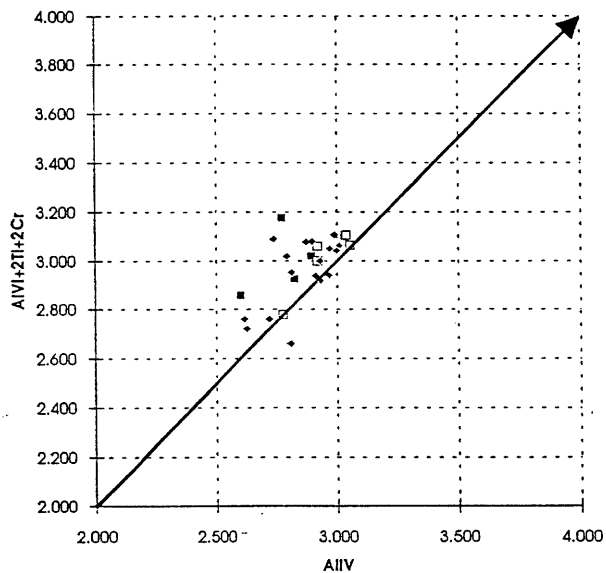
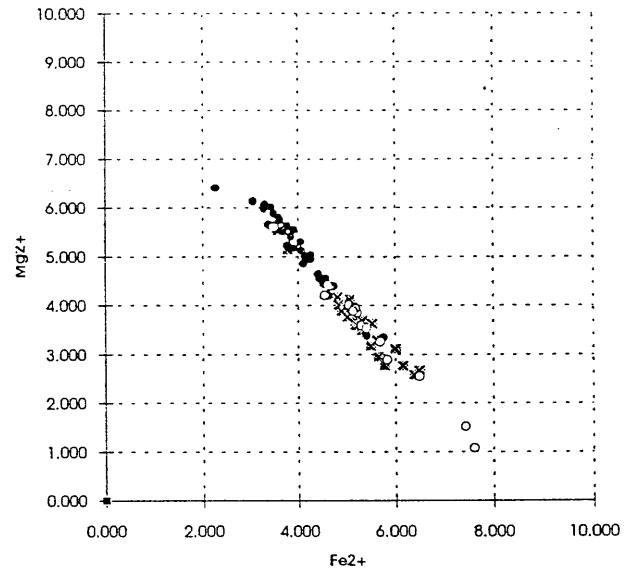
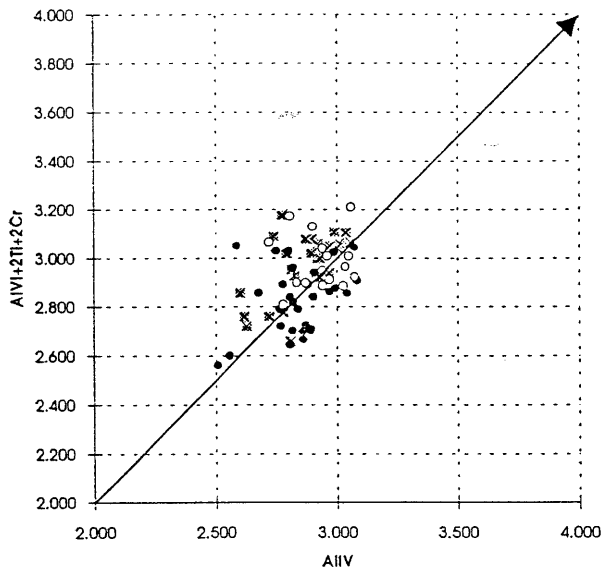


FIG. 7.21 e 7.22 (in alto). Caratteri chimici di cloriti di metapeliti di pressione intermedia di vario grado metamorfico: facies degli scisti verdi (x su fondo gris ), "facies anfibolitica" con cloritoide (cerchietti vuoti), facies anfibolitica (cerchietti pieni).

FIG. 7.24 e 7.25 (in basso). Caratteri chimici di cloriti di metapeliti di pressione intermedia della facies degli scisti verdi: zona della clorite (quadrati pieni), zona della biotite (quadrati vuoti), zona del granato.

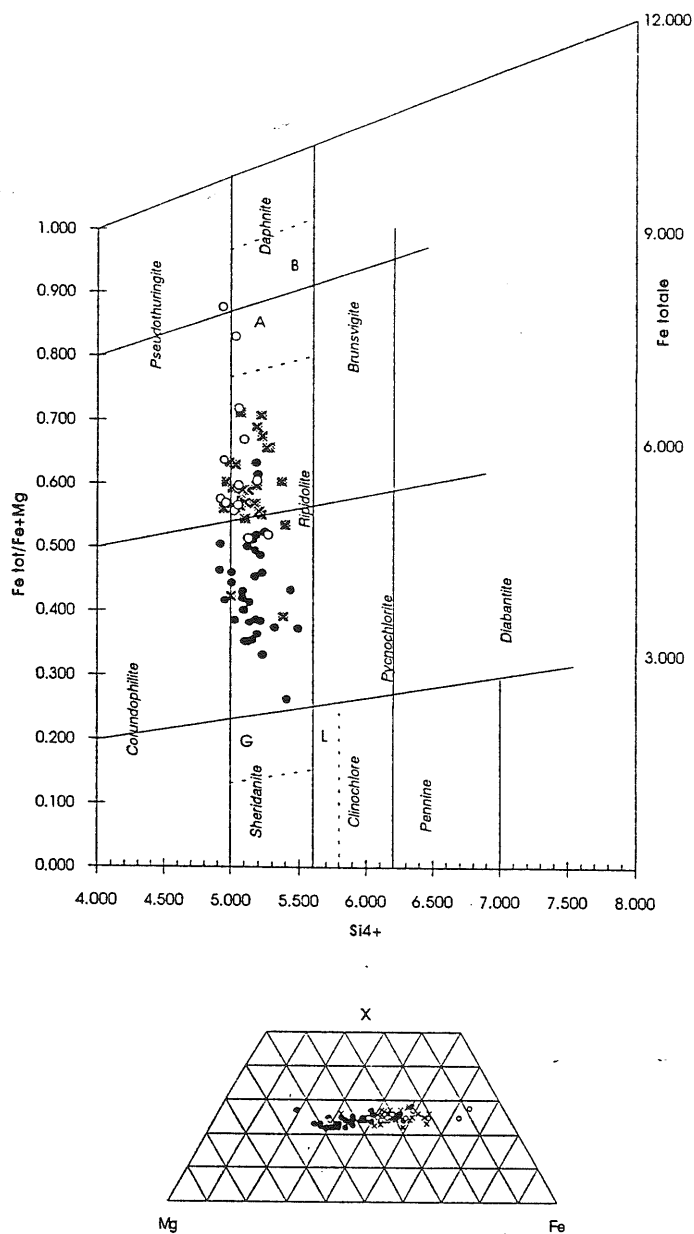


FIG. 7.23a,b. Caratteri chimici di cloriti di metapeliti di pressione intermedia di vario grado metamorfico: facies degli scisti verdi (x su fondo grisé), "facies anfibolitica" con cloritoidi (cerchietti vuoti), facies anfibolitica (cerchietti pieni).

nel campo delle pseudothuringiti e in quello delle corundofilliti. Le cloriti della facies degli scisti verdi tendono a cadere nel sottocampo a più alti valori di Fe dell'area delle ripidoliti, assieme alle cloriti della "facies anfibolitica" con Cld. Ancora una volta si nota che le cloriti coesistenti con Cld delle rocce in "facies anfibolitica" sono sostanzialmente uguali a quelle della facies degli scisti verdi.

Con riferimento ora al diagramma di FIG. 7.23b, la proiezione dei punti rappresentativi delle cloriti riferibili alle diverse facies metamorfiche evidenzia che la debole correlazione positiva tra contenuto di X ($Al^{VI} + \square$) e contenuto di Fe, già visto nel punto II (effetto della pressione) per le cloriti di MP, sembra esserci anche nell'ambito di ogni singola facies. In altri termini, sia nell'ambito della facies degli scisti verdi che in quelle della facies anfibolitica, esiste una moderata ma netta correlazione positiva tra Fe e X ($Al^{VI} + \square$).

Passando ora ad indagare nell'ambito della facies degli scisti verdi, dalla FIG. 7.24 risulta subito evidente che non è individuabile alcuna differenza sistematica in termini di sostituzioni TK e FM tra cloriti di diverso grado metamorfico; altrettanto si può dire per Fe e Mg, anche se la FIG. 7.25 mostra che le cloriti della zona a granato (rombi pieni) possono essere più ricche in Fe delle cloriti della zona a biotite (quadrati vuoti).

In metapeliti di alta pressione. Sono state considerate separatamente, ma rappresentate con lo stesso simbolo (quadrati grigi crociati) le metapeliti s.s. in associazione con silicati di Mg, Fe, Al (es. Cld, Phen, Crp) da quelle a glaucofane (o a Lws + Ep): i punti di questi ultimi sono però sempre racchiusi da linee di contorno (FIG. 7.26, 7.27, 7.29, 7.30). L'unico punto relativo ad una clorite di anchizona, che compare in altri diagrammi, rimane fuori dall'area di questo diagramma (BLACK, 1975) e pertanto non è stato qui considerato. Nel diagramma di FIG. 7.26, un confronto tra cloriti in facies degli scisti verdi (quadrati grigi crociati) indica che la sostituzione AM avviene in minore misura nelle cloriti di metapeliti a glaucofane (delineate da una linea tratteggiata). Ciò vale anche rispetto alle cloriti della facies anfibolitica. La sostituzione TK appare invece confrontabile nell'ambito delle cloriti della facies degli scisti verdi, mentre le cloriti della facies anfibolitica (cerchietti pieni) presentano una minore sostituzione TK. Per quanto riguarda la sostituzione FM, come è evidente dalla FIG. 7.27 tutte le cloriti in facies degli scisti verdi e l'unica clorite dell'anchizona (triangolo pieno), risultano in prevalenza molto più ricche in Fe delle cloriti della facies anfibolitica (cerchietti pieni), ma alcune di esse presentano i valori in assoluto più elevati in Mg. Limitando ora il discorso alle sole cloriti della facies degli scisti verdi, quelle delle metapeliti a glaucofane (contenute nella linea tratteggiata) si differenziano dalle cloriti delle metapeliti s.s. per un maggiore

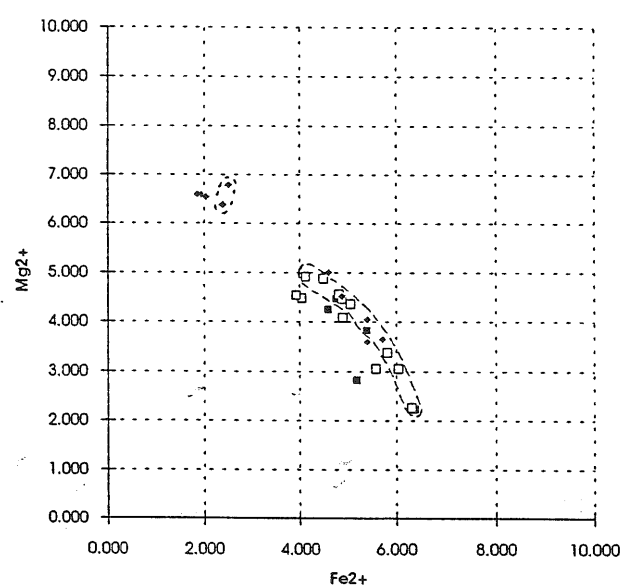
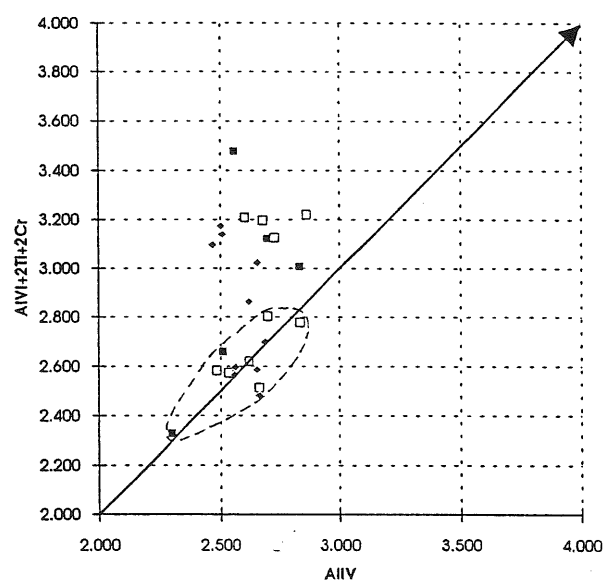
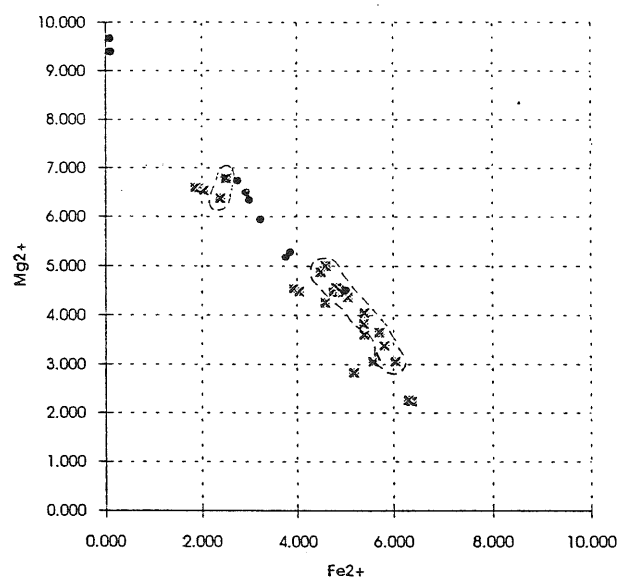
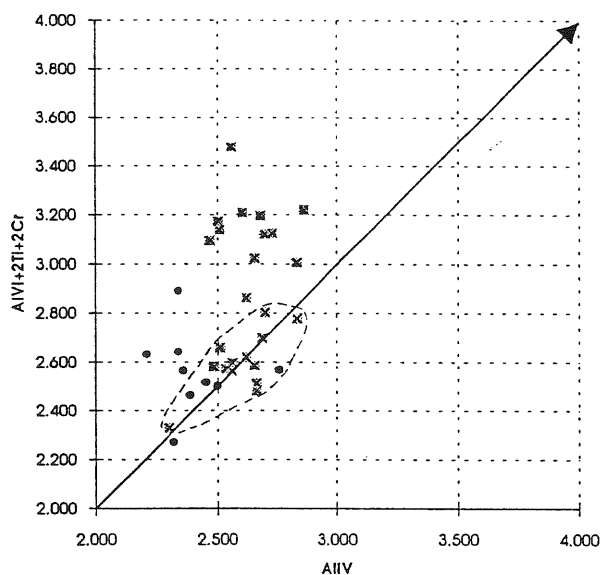


FIG. 7.26 e 7.27 (in alto). Caratteri chimici di cloriti di metapeliti di alta pressione, di vario grado metamorfico: facies zeolitica (triangolo pieno), facies degli scisti verdi (x su fondo grisé), facies amphibolitica (cerchietti pieni). Il contorno tratteggiato delimita l'area di distribuzione dei punti relativi a metapeliti con glaucofane (o a Lws+Ep).

FIG. 7.29 e 7.30 (in basso). Caratteri chimici di cloriti di metapeliti di alta pressione, della facies degli scisti verdi: zona della clorite (quadrati pieni), zona della biotite (quadrati vuoti), zona del granato.

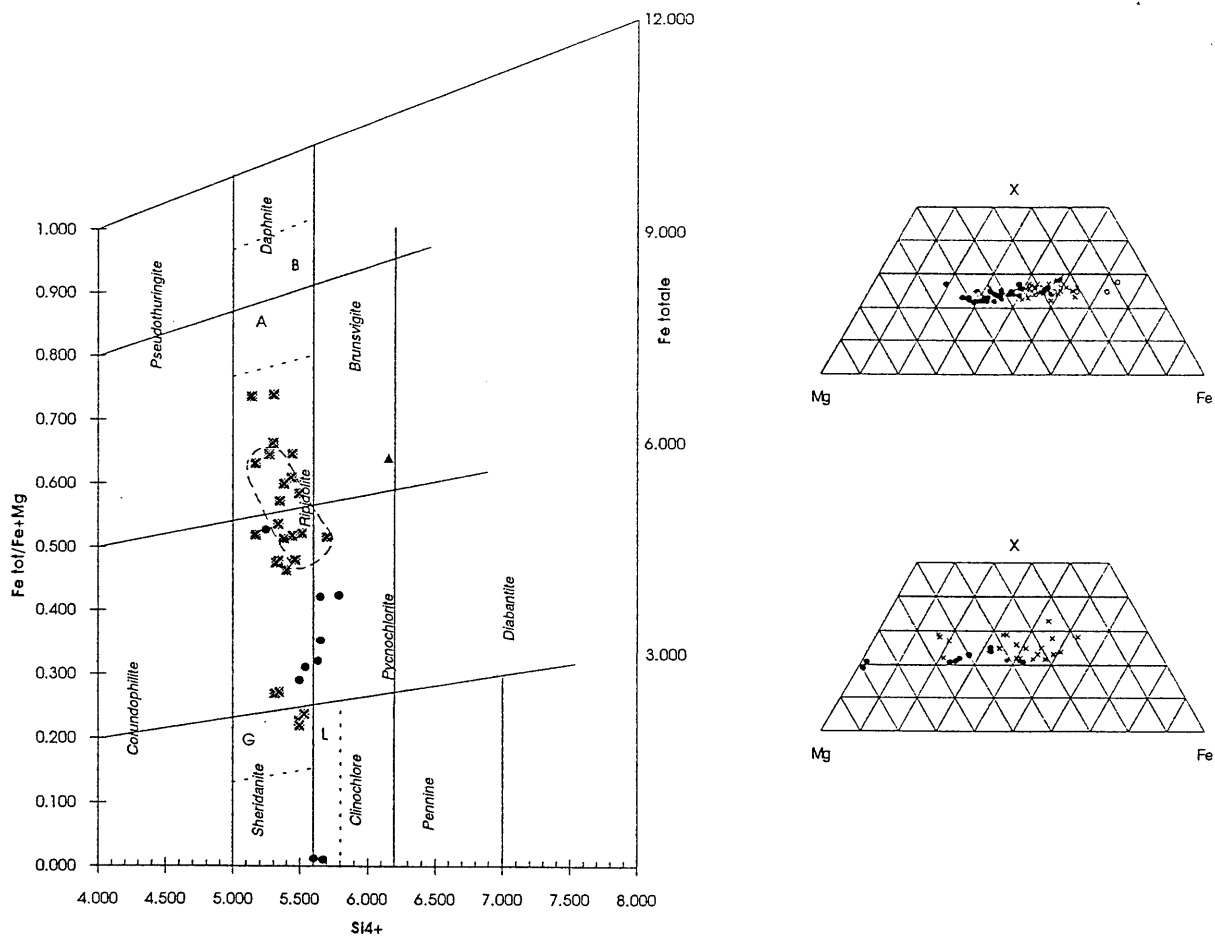


FIG. 7.28a,b. Caratteri chimici di cloriti di metapeliti di alta pressione, di vario grado metamorfico: facies zeolitica (triangolo pieno), facies degli scisti verdi (x su fondo grise), facies anfibolitica (cerchietti pieni). Il contorno tratteggiato delimita l'area di distribuzione dei punti relativi a metapeliti con glaucofane (o a Lws+Ep).

contenuto di Fe+Mg.

Nel diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 7.28a) gran parte dei punti rappresentativi delle cloriti di metapeliti di alta pressione cade nel campo delle ripidoliti, sebbene alcuni punti vanno riferiti a sheridaniti (THEYE *et al.* 1992), clinoclori (SCHREYER & ABRAHAM, 1976), picnocloriti (VUICHARD & BALLEVRE, 1988) e brunsvigiti (BLACK, 1977). Le cloriti coesistenti con glaucofane (o Ep + Lws) (area contornata) occupano una regione del diagramma di HEY (1954) più ristretta di quella delle cloriti di metapeliti s.s.

Nel triangolo classificativo di WEISS, 1991 e ZANE & WEISS, 1996 (FIG. 7.28a,b) è evidente la differenza compositiva soprattutto in termini di Mg e Fe tra cloriti della facies degli scisti verdi (tutte contrassegnate da x su fondo grisé) e cloriti della facies anfibolitica.

Prendendo ora in considerazione le cloriti nell'ambito della sola facies degli scisti verdi, dalla FIG. 7.29 risultano con maggiore chiarezza le differenze tra cloriti di metapeliti s.s. e cloriti di metapeliti a glaucofane (racchiuse all'interno della linea tratteggiata). Nelle prime, malgrado l'esiguo numero di analisi, si nota una tendenza alla diminuzione della sostituzione TK all'aumentare del grado metamorfico dalle zone di più bassa temperatura (zona a clorite: quadrati pieni, a zona a biotite: quadrati vuoti) alla zona a granato (rombi pieni). Nelle seconde si nota una tendenza verso bassi valori di AM. Per quanto riguarda la sostituzione FM (FIG. 7.30), nelle cloriti di metapeliti s.s. le cloriti della zona del granato (rombi pieni) presentano i più alti contenuti in Mg.

In metabasiti di alta pressione. Nel diagramma di FIG. 7.31 vengono proiettate tutte le analisi relative all'anchizona (triangoli pieni) e alla facies degli scisti verdi (quadrati grigi crociati). Non risulta alcuna sistematica differenza in termini di sostituzione TK, anche se le cloriti dell'anchizona tendono a concentrarsi verso valori più bassi di TK, e l'intervallo di variazione della sostituzione tschermakitica risulta essere molto più ampio per le cloriti della facies degli scisti verdi. La sostituzione AM sembra essere presente in entità confrontabili per le cloriti di entrambe le facies. Per quanto riguarda la sostituzione FM, l'unico dato evidente dal diagramma di FIG. 7.32 è che le cloriti dell'anchizona (triangoli pieni) sembrano presentare una variabilità di Fe e Mg più ampia di quella delle cloriti in facies degli scisti verdi (quadrati grigi crociati).

Nel diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 7.33a), le cloriti dell'anchizona cadono preferenzialmente nel campo delle picnocloriti e dei clinoclori, mentre le cloriti della facies degli scisti verdi (quadrati grigi crociati) occupano un'area a cavallo tra picnocloriti e ripidoliti. Nel triangolo classificativo di WEISS (1991) e ZANE & WEISS

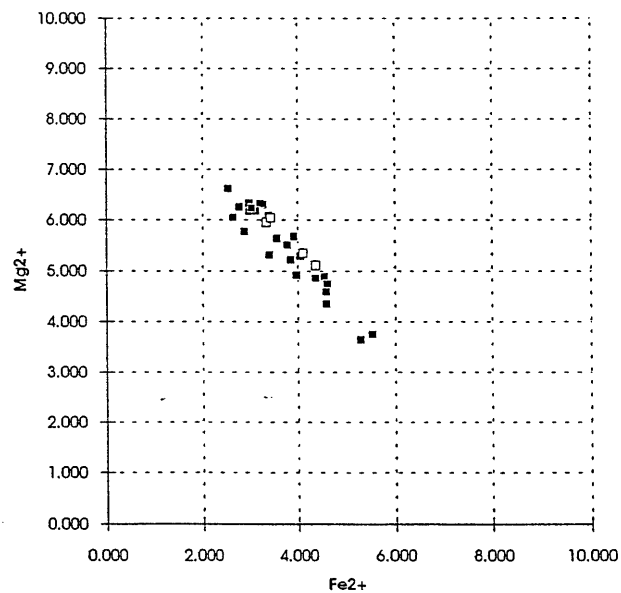
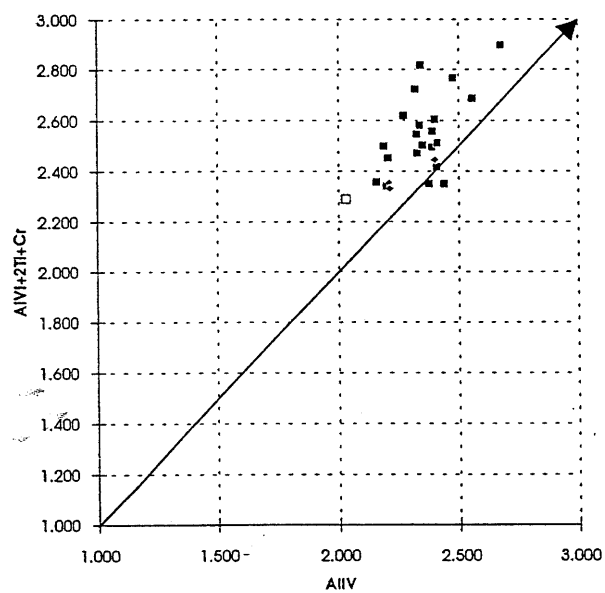
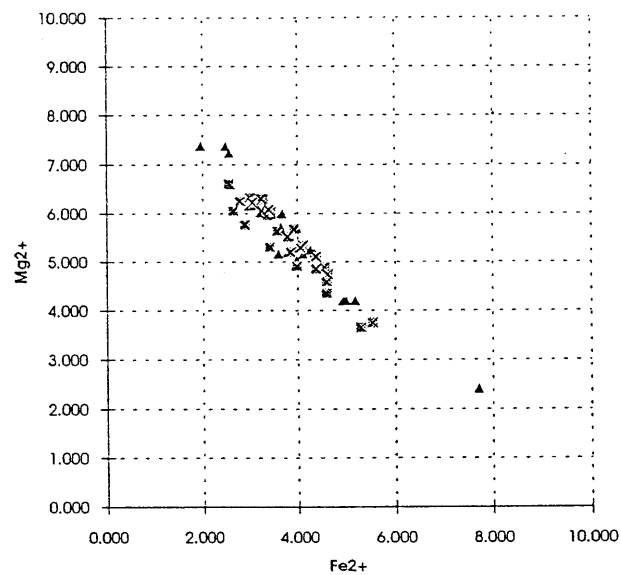
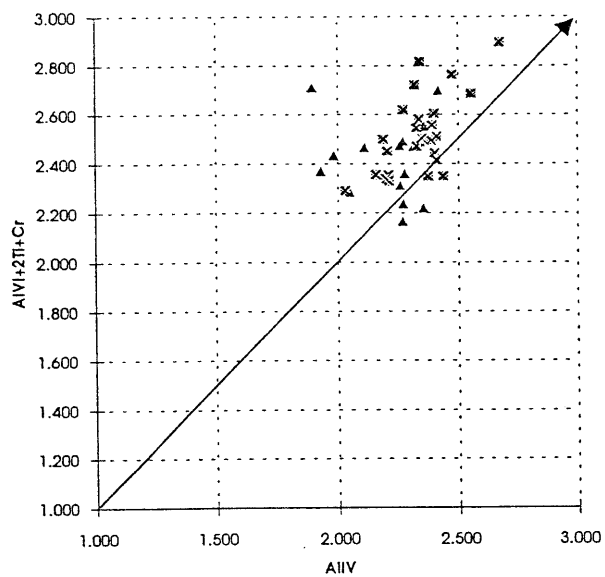


FIG. 7.31 e 7.32 (in alto). Caratteri chimici di cloriti di metabasiti di alta pressione, di vario grado metamorfico: anchizona (triangoli pieni), facies degli scisti verdi (x su fondo grisé).

FIG. 7.34 e 7.35 (in basso). Caratteri chimici di metabasiti di alta pressione, facies degli scisti verdi: zona della clorite (quadrati pieni), zona della biotite (quadrati vuoti), zona del granato:

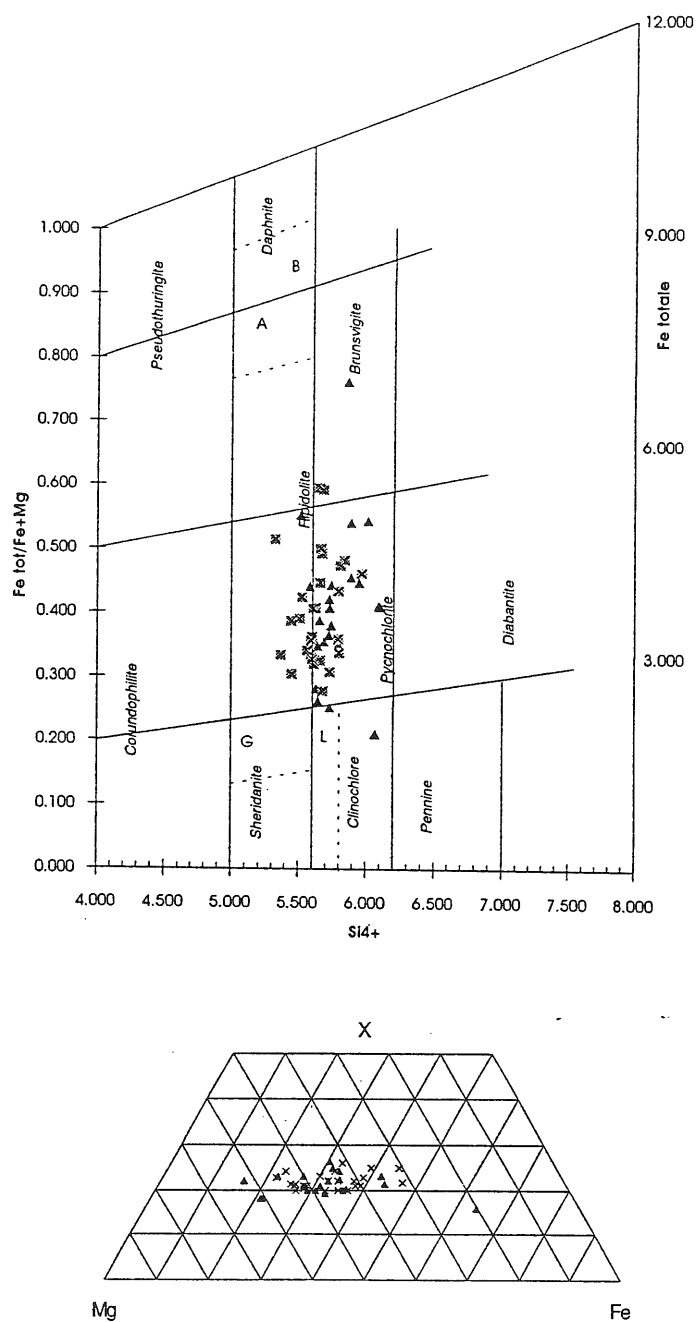


FIG.7.33a,b. Caratteri chimici di cloriti di metabasiti di alta pressione, di vario grado metamorfico: anchizone (triangoli pieni), facies degli scisti verdi (x su fondo grisé).

(1996) (FIG. 7.33b), i punti rappresentativi delle cloriti delle due facies (zeolitica: triangoli pieni, e degli scisti verdi in questo caso indicati da x su fondo grisé) non sembrano differenziarsi per i contenuti di Fe e Mg.

Focalizzando ora l'attenzione alle cloriti della facies degli scisti verdi, nelle FIG 7.34 e 7.35 sono state distinte le cloriti della zona della clorite (quadrati pieni), da quelle della zona della biotite (quadrati vuoti), e della zona a granato (rombi pieni). I dati analitici relative alle prime sono i più numerosi e coprono un intervallo compositivo abbastanza ampio. Quanto alle altre, l'esiguo numero di dati non rende possibile fare alcuna considerazione.

In conclusione, da tutti gli andamenti finora descritti in questo capitolo, ritengo di poter ricavare le seguenti indicazioni generali, per altro congruenti con LAIRD (1988):

- 1) l'influenza della composizione chimica della roccia sul chimismo delle cloriti risulta da questa banca dati decisamente prevalente sull'influenza esercitata dalle variabili intensive;
- 2) nell'ambito delle metapeliti, le cloriti della facies anfibolitica hanno valori del rapporto Mg/Fe per lo più maggiori di 1.0;
- 3) nelle metapeliti della facies degli scisti verdi di bassa pressione, le cloriti della zona dell'almandino sono confinate a valori di TK più bassi rispetto a quelle delle zone della clorite e della biotite, che sembrano fra loro indistinguibili; la presenza di cloritoide nell'associazione mineralogica determina ovviamente una minore variabilità compositiva delle cloriti;
- 4) le scarse cloriti di metapeliti di alta pressione di questa banca dati mostrano una tendenza verso valori di sostituzione TK più bassi rispetto alle altre cloriti;
- 5) nelle metabasiti le cloriti di pressione intermedia (I_p) sono confinate a valori di TK molto alti ed a contenuti di Al^{IV} per lo più maggiori di 2.5 a.f.u., nonché ad alti valori di Mg.

8. OSSERVAZIONI IN MICROSCOPIA ELETTRONICA A TRASMISSIONE

8.1 INTRODUZIONE

Uno dei problemi che si incontrano più frequentemente nell'analisi chimica delle cloriti con la microsonda elettronica è la possibilità che i cristalli analizzati siano costituiti da intima associazione submicroscopica di clorite con altri fillosilicati (mica chiara, biotite, serpentino etc.). Tale intima associazione può avvenire, soprattutto nelle rocce di basso grado metamorfico, a diverse scale: da quella rilevabile con uno studio al microscopio ottico fino a quella dell'ordine delle decine di Å, largamente inferiore al diametro del fascio incidente della microsonda elettronica e rilevabile al Microscopio Elettronico a Trasmissione (T.E.M.). Tali interstratificazioni possono influire pesantemente sui risultati EMPA e quindi sulla formula cristallografica risultante, che quindi è priva di significato in quanto non si riferisce alla clorite ma ad un aggregato polifasico. Spesso in tali casi si constata presenza di una significativa quantità di alcali ed un maggior contenuto di vacanze ottaedriche. Come già precisato nei capitoli precedenti, per le analisi alla microsonda elettronica sono stati scelti esclusivamente cristalli omogenei dal punto di vista ottico e con contenuti pressochè nulli di K+Na+Ca. Tuttavia si è ritenuto utile condurre su alcuni campioni uno studio al Microscopio Elettronico a Trasmissione per accertare la loro effettiva omogeneità anche a scala submicroscopica. Tale indagine si rivela particolarmente utile nei campioni della fascia termica più bassa ove con maggiore probabilità le interstratificazioni polifasiche, comuni nei sedimenti argillosi, possono persistere (ad es. vedasi JIANG & PEACOR, 1994 e letteratura citata per rocce di grado ancora più basso di quello da me considerato). Nel corso dello studio al T.E.M. è stato anche possibile eseguire analisi chimiche mediante spettrometria a dispersione di energia EDS su microdomini di qualche centinaio di Å.

L'analisi al T.E.M. ha permesso inoltre l'osservazione delle microstrutture e lo studio del politipismo della clorite. Due, infatti sono le "risposte" che possiamo ottenere grazie all'uso del Microscopio Elettronico a Trasmissione:

- 1) immagini a vari ingrandimenti (e precisamente immagini T.E.M. a basso ingrandimento ed immagini ad alto ingrandimento "lattice fringe") che permettono: l'individuazione di interstratificazioni e di difetti, lo studio delle microstrutture nonché la misura della periodicità;
- 2) effetti di diffrazione elettronica, per lo studio del politipismo, la determinazione dei parametri di cella ed il grado di organizzazione strutturale.

Va ricordato, comunque, che l'analisi al T.E.M., sia chimica che strutturale, è un'analisi estremamente puntuale. L'area analizzata, infatti, ha un diametro di poche

centinaia di Å nell'analisi chimica e di qualche migliaio di Å nella diffrazione elettronica. E' da ricordare che la diversità della scala di ingrandimento fa sì che le informazioni derivate dallo studio T.E.M. coinvolgano aree/volumi molto più contenuti rispetto a quelli studiati con la microsonda elettronica e per diffrazione RX.

8.2 PROCEDURE ANALITICHE

8.2.1 Preparazione dei campioni e condizioni analitiche

Lo studio al T.E.M. è stato effettuato su lamelle di clorite prelevate da sezioni sottili incollate al vetrino con una resina termoplastica (Lakeside 70). Dopo lo studio ottico necessario per la scelta dei siti da analizzare, le sezioni sottili sono state assottigliate sino a spessori di circa 10-15µm. Attorno alle lamelle prescelte sono stati applicati con resina epossidica degli anellini di Cu-Pd con foro di 200µm, che in seguito a breve riscaldamento sono stati staccati dal vetrino. I campioni così preparati sono stati sottoposti all'assottigliamento ionico (Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli studi di Modena e Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Siena) e successivamente metallizzati con carbonio.

Le analisi sono state effettuate con un Phillips 400T che opera a 120 Kv (risoluzione teorica 4.5Å) equipaggiato con un sistema EDS (Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Siena).

8.2.2 Effetti di diffrazione elettronica SAED (Selected Area Diffraction Pattern)

Tra le varie tecniche di diffrazione possibili al T.E.M. quella SAED (Selected Area Electron Diffraction), che prevede l'uso di un fascio elettronico parallelo e di un diaframma inserito nel piano immagine della lente dell'obiettivo o in quello della lente della diffrazione, si è rivelato particolarmente utile per lo studio dei politipi. Il diaframma, infatti, raccogliendo gli effetti di diffrazione provenienti solo da una piccola parte dell'immagine diffratta (FIG. 8.1), permette di evidenziare i contributi derivanti da uno specifico motivo strutturale. Gli spettri di diffrazione elettronica rappresentano infatti sezioni bidimensionali del reticolo reciproco di una data fase. Orientando la lamella in esame in modo tale che {001} risulti parallelo al fascio di elettroni, si ottiene un pattern di diffrazione SAED che include il vettore c^* ed un vettore dei piani $hk0$ (a^* o b^* o un vettore correlato a questi per la pseudosimmetria esagonale delle cloriti mediante rotazioni di 60° attorno a c^*).

E' possibile misurare i parametri di cella (ad esempio b_0) a partire dalle distanze (in mm) tra le macchie di diffrazione ("spot") mediante la seguente relazione:

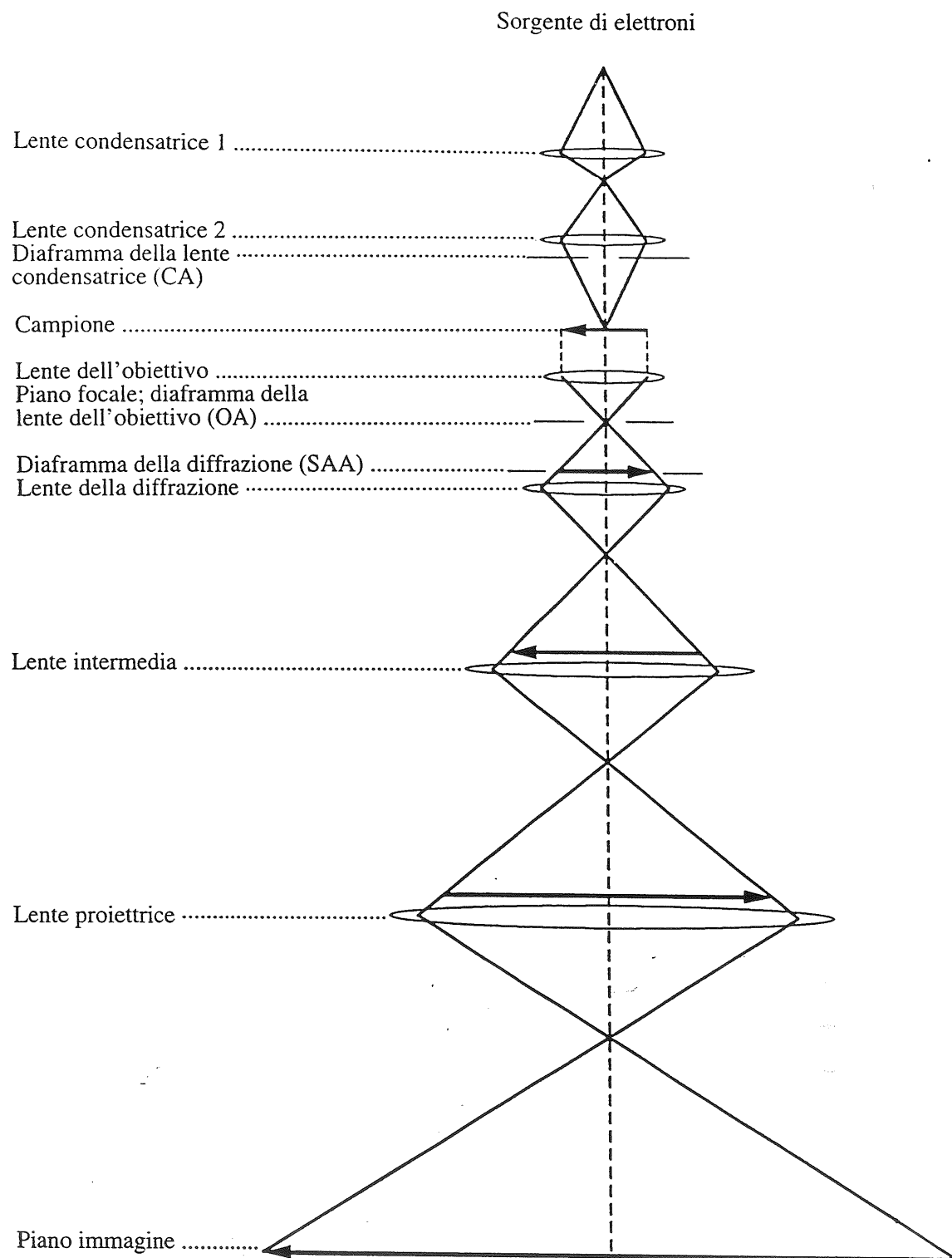


FIG. 8.1. Percorso del fascio elettronico e dei raggi diffratti nel Microscopio Elettronico a Trasmissione (T.E.M.). Le frecce orizzontali mostrano la posizione del campione e le sue immagini progressivamente ingrandite a diversi livelli del microscopio.

$$b_0 \text{ (in } \text{\AA}) = L\lambda/d \text{ (in mm)}$$

dove b_0 =parametro di cella, L = costante di camera, d = distanza tra macchie misurata sulla pellicola, λ = lunghezza d'onda dell'elettrone.

Le sezioni del reticolo di diffrazione elettronica contenenti i vettori c^*-a^* (filari 00 l -20 l) non danno informazioni sui politipi della clorite, informazioni che invece si ottengono dalle sezioni c^*-b^* oppure $c^*-[110]^*$. Infatti, come visto nel paragrafo 3.2.3, i riflessi non afferenti al filare 00 l con $k \neq 3n$ sono diagnostici dei diversi modi in cui strati adiacenti si impilano nella struttura della clorite dando origine ai politipi. Allo scopo i filari più idonei sono: 00 l , 02 l , 04 l oppure 00 l , 11 l , 22 l .

Gli effetti di diffrazione elettronica nei campioni di clorite esaminati sono stati ottenuti utilizzando un diaframma della diffrazione di 50 μ m. Nella totalità dei casi si tratta di sezioni c^*-b^* o $c^*-[110]^*$, utili quindi per il riconoscimento dei politipi mediante una prima comparazione delle intensità osservate delle diffrazioni elettroniche con le intensità calcolate (vedasi paragrafo 10.2).

8.2.3 Immagini ad alta risoluzione ("LATTICE FRINGE")

Le immagini ad alta risoluzione si ottengono grazie alla capacità che una serie di lenti ha di raccogliere e focalizzare la trasformata dei raggi diffratti. Il "lattice fringe" è un tipo di immagine che si ottiene utilizzando sia il fascio trasmesso che una specifica parte del fascio diffratto. Nel piano focale della lente dell'obiettivo viene posto il diaframma dell'obiettivo (FIG. 8.1), che permette di costruire l'immagine utilizzando i raggi riflessi dai piani (00 l) (immagine ad una dimensione) oppure i raggi riflessi sia dai piani (00 l) che (hkl) (immagine bidimensionale). In teoria, le frange scure rappresenterebbero zone ad alta densità di carica mentre le frange chiare rappresenterebbero zone a bassa densità di carica. In realtà la sequenza di frange chiare e scure dipende strettamente da tre parametri:

- 1) spessore del campione;
- 2) orientazione del campione;
- 3) fuoco.

Le condizioni di sottofuoco di Scherzer (-100nm) sono ottimali per studiare la struttura (GUTHRIE & VEBLEN, 1990), mentre quelle di sovrafuoco (100nm) sono ottimali per studiare la composizione. Il verificarsi di condizioni non ideali può modificare enormemente l'aspetto delle frange e quindi la loro interpretazione. La distanza $d(001)$ tra ciascuna coppia di frange 001 può essere misurata direttamente sull'immagine. Dal rapporto tra la distanza $d(001)$ in mm (misurata sull'immagine) ed il

numero di ingrandimenti, si ottiene la distanza reale $d(001)$ in Å.

In tal modo i fillosilicati 1:1, 2:1, 2:1:1 (cloriti), possono essere distinti in base ai valori delle distanze interplanari $d(001)$, rispettivamente di 7, 10, 14 Å. Tuttavia, a causa degli errori nella misura diretta di $d(001)$ sia negli spettri di diffrazione che nelle immagini dirette, non è possibile valutare piccole differenze nel valore di $d(001)$ quali quelle, ad esempio, che consentirebbero di discriminare tra muscovite da biotite.

Le immagini ad alta risoluzione raccolte durante la presente ricerca sono state realizzate utilizzando un diaframma dell'obiettivo con diametro di 50µm centrato sul fascio trasmesso ed in condizioni di sottofuoco di Scherzer. Non è stato possibile risolvere l'immagine lungo b , dato che il diaframma utilizzato ha permesso di raccogliere principalmente i riflessi $00l$ e solo pochi e poco intensi riflessi $02l$ (o $11l$). Sullo schermo è stato adottato un ingrandimento fino a 170000×. La clorite si è dimostrata essere abbastanza stabile sotto al fascio elettronico, sopportando tempi di esposizione di qualche minuto.

8.2.4 Microscopia Elettronica Analitica (AEM)

E' possibile ottenere analisi chimiche quantitative delle fasi studiate al T.E.M. qualora quest'ultimo sia provvisto di uno sistema con spettrometro a dispersione di energia EDS. Rispetto alla microsonda elettronica, l'EDS utilizzato in microscopia elettronica ha il vantaggio di avere una risoluzione spaziale circa 100 volte superiore, di non richiedere correzioni ZAF per il numero atomico (Z), l'assorbimento (A) e la fluorescenza (F), mentre ha gli svantaggi di avere minori precisione e accuratezza e di fornire solo rapporti di concentrazione. Per un dato minerale, normalizzando tali rapporti secondo un determinato valore assoluto, è possibile ottenerne, con la procedura di CLIFF & LORIMER (1975), una approssimata formula strutturale.

Sono state realizzate, in tal modo, 21 analisi chimiche di cloriti (di cui vengono riportate solo le più significative) su siti con diametro di qualche centinaio di Å, inclinando il portacampioni di 30° verso il rilevatore a Si(Li) del sistema EDS, e con tempi di conteggio tra 800 e 2000 cps. Per ciascun picco è stato misurato, e quindi sottratto, il background. La formula mineralogica è stata calcolata utilizzando la seguente formula:

$$N_x/N_{Si} = J_{xSi} \times I_x/I_{Si}$$

dove N_x è la concentrazione dell'elemento espressa in percentuale atomica; N_{Si} è la concentrazione del silicio espressa in percentuale atomica; J_{xSi} è il fattore di proporzionalità ricavato da precedenti analisi su minerali standard (MELLINI, comunicazione personale); I_x è l'intensità dell'elemento x ; I_{Si} è l'intensità del Si preso

come riferimento. Le proporzioni cationiche per formula unitaria sono state calcolate facendo riferimento a 28 O. Tutto il ferro è stato considerato bivalente.

Per ciascun sito è stato realizzato solo un punto analisi, dato che l'interesse principale in questo caso non era quello di valutare quantitativamente le composizioni bensì quello di sfruttare l'alta risoluzione spaziale permessa dal microscopio elettronico per "testare" eventuali differenze compositive relative tra siti diversi.

8.3 OSSERVAZIONI AL T.E.M.

Lo studio al T.E.M. è stato condotto su quattro campioni rappresentativi di metapeliti ed un campione di metabasite. In particolare:

a) tre campioni appartengono alla fascia di più bassa temperatura della facies degli scisti verdi:

- C-A5: metapelite del Comelico;
- 16: metapelite di Recoaro;
- REC4: metabasite di Recoaro;

b) due appartengono alla fascia di più alta temperatura della medesima facies:

- Lu82-10: metapelite di Lusson;
- Ro1: metabasite di Rodengo.

Una descrizione più dettagliata dei siti microstrutturali nei quali la clorite è localizzata, della composizione chimica di questa e relativa classificazione viene presentata per ciascun campione nel CAP.9.

Gran parte della letteratura che riguarda studi in microscopia elettronica viene pubblicata in lingua inglese. Non esiste quindi una traduzione italiana "codificata" dei termini maggiormente in uso. Pertanto si precisa che il termine inglese "packets of layers" viene qui tradotto come pacchetto di strati e che il termine "chlorite layers" è stato tradotto con "strati di clorite", intendendo in questo modo l'intera unità strutturale a 14 Å (pacchetto 2:1 + interstrato).

8.3.1 Campione C-A5 (da una metapelite del Comelico).

Per lo studio in microscopia elettronica delle cloriti di questo campione è stata selezionata una lamella di clorite cristallizzata all'interno dei livelli lepidoblastici in associazione con muscovite. La direzione di allungamento di tale lamella risulta quasi perpendicolare rispetto alla direzione dei piani di scistosità prevalente (S_1). Nelle metapeliti del Comelico le condizioni termiche del metamorfismo sono riconducibili alla zona a clorite della facies degli scisti verdi.

L'aspetto generale che emerge dalle osservazioni delle immagini a basso ingrandimento viene presentato in FIG. 8.2: pacchetti di strati ben cristallizzati sono a contatto con pacchetti dall'aspetto apparentemente "lacerato".

Nella porzione più regolare relativa alla immagine a basso ingrandimento di FIG. 8.2 è stato ottenuto lo spettro di diffrazione di FIG. 8.3. Tale spettro presenta, oltre al vettore c^* , i vettori a^* e $[110]^*$. Potrebbe trattarsi (VEBLEN, 1983) di una geminazione dovuta alla rotazione di due cristalli di clorite rispetto al piano (001). Entrambe le due orientazioni contribuiscono alle diffrazioni lungo il filare 001. L'orientazione c^*-a^* produce gli effetti di diffrazione lungo i filari indicati in FIG. 8.3 con 2 mentre l'orientazione $c^*-[110]^*$ produce le diffrazioni lungo i filari indicati con 1. In quest'ultima orientazione è possibile identificare una periodicità doppia lungo i filari con $k \neq 3n$ (111, 221). Si tratta cioè di un politipo regolare a 2-pacchetti con leggero "streaking" dovuto ad un parziale disordine di impilamento. Dal confronto delle intensità calcolate, riportate in Appendice, relative ai riflessi 111 dei politipi MDO della clorite, non è stato possibile identificare alcuno di tali politipi. Per l'individuo orientato secondo c^*-a^* non è possibile identificare il politipo in quanto i riflessi $h0l$ che produce non sono diagnostici per il riconoscimento dei politipi della clorite (paragrafo 3.2.3).

Le immagini ad alta risoluzione ("lattice fringe") relative a questa stessa regione, presentano frange dritte, parallele, con periodicità di $14\text{\AA}$ e con sequenze di impilamento generalmente regolari, prive di difetti ("stacking faults") e di intercrescite con altri fillosilicati. A volte, pacchetti di strati che a basso ingrandimento appaiono regolari possono presentare porzioni più irregolari. Un esempio viene riportato in FIG. 8.4, dove tra due pacchetti estremamente regolari ed ordinati è compresa una fascia di circa $200\text{\AA}$ di materiale non ordinato con frange ondulate ("wavy layers": MELLINI, 1991) indicative di materiale poco cristallizzato (VEBLEN & FERRY, 1983; MELLINI, 1991).

Nella regione dall'aspetto più difettivo apparentemente "lacerato" di FIG. 8.2, le immagini ad alta risoluzione mostrano frange dritte e parallele che si alternano a frange piegate (FIG. 8.5). I pacchetti di clorite, infatti, sembrano separarsi in alcuni tratti ripiegandosi con andamento a Z. Simili strutture si ritrovano nelle immagini pubblicate da VEBLEN & FERRY (1983) e JIANG & PEACOR (1994). Secondo alcuni autori (AHN & PEACOR, 1986c) la diffusione cationica e/o la deidratazione dovuta all'effetto del fascio elettronico sul campione possono causare nei fillosilicati la separazione degli strati sottoforma di lenti. Questi effetti, secondo AHN & PEACOR (1986c), avvengono lungo i piani (001), con origine probabilmente in punti con difetti strutturali od interstrati idratati. Tuttavia, osservando attentamente l'andamento dei pacchetti di clorite, è

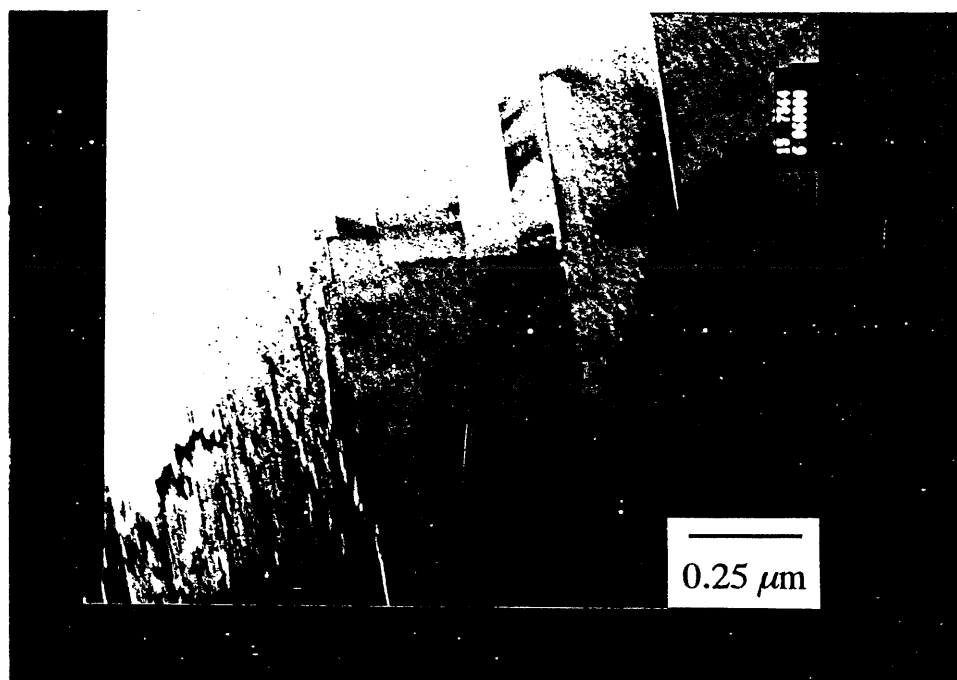


FIG. 8.2. Immagine a basso ingrandimento di pacchetti di clorite nel campione C-A5.

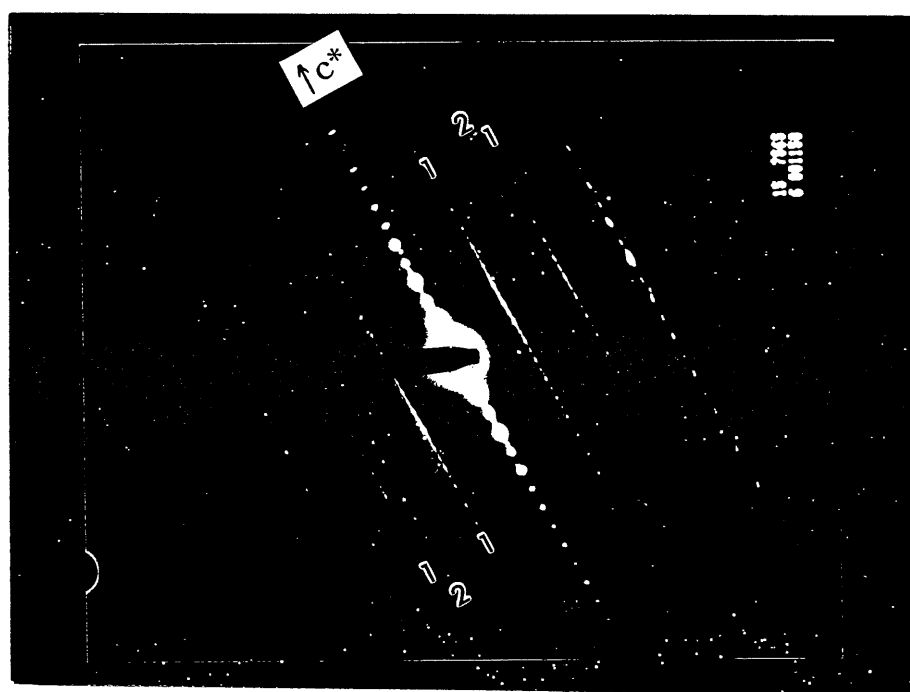


FIG. 8.3. Spettro di diffrazione elettronica della clorite relativa alla zona più regolare dell'immagine di FIG. 8.2. I filari indicati con 1 si riferiscono all'orientazione $c^*-[110]^*$; i filari indicati con 2 si riferiscono all'orientazione c^*-a^* (campione C-A5, da una metapelite del Comelico).

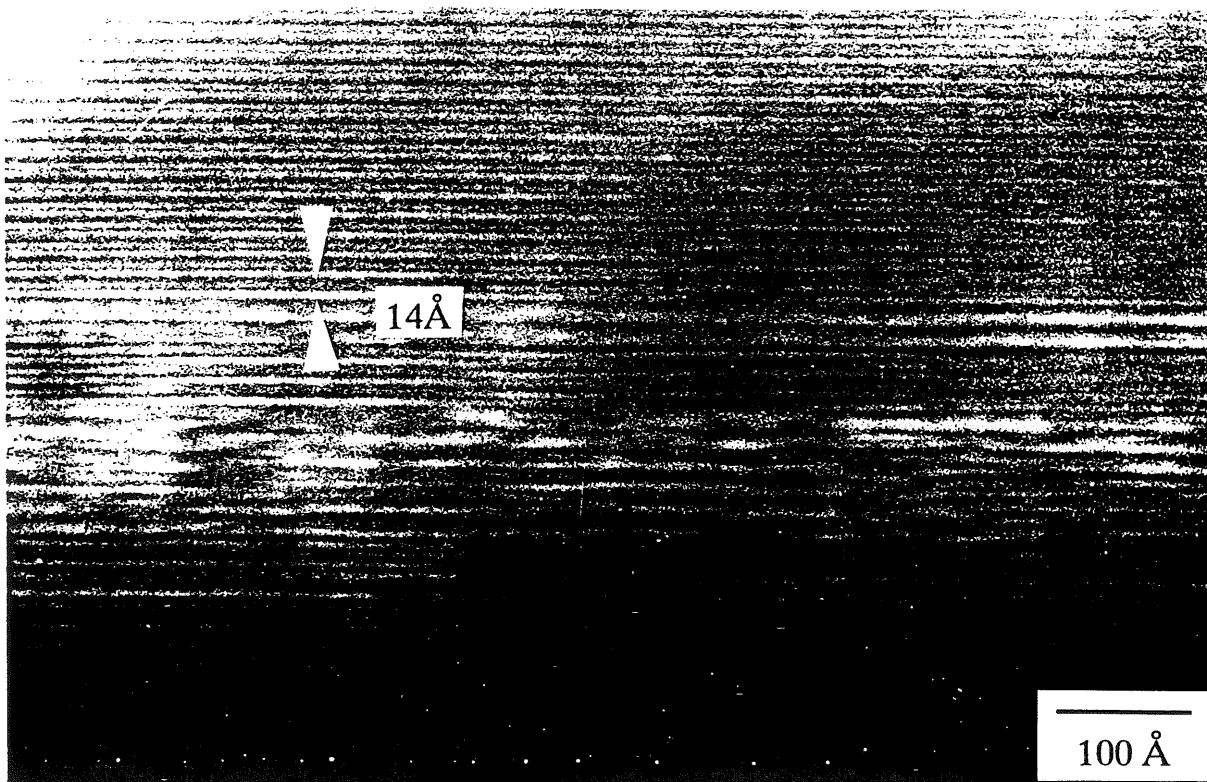


FIG. 8.4. Immagine ad alto ingrandimento di pacchetti di strati di clorite regolari alternati a materiale poco cristallizzato ("wavy layers") nel campione C-A5, da una metapelite del Comelico).

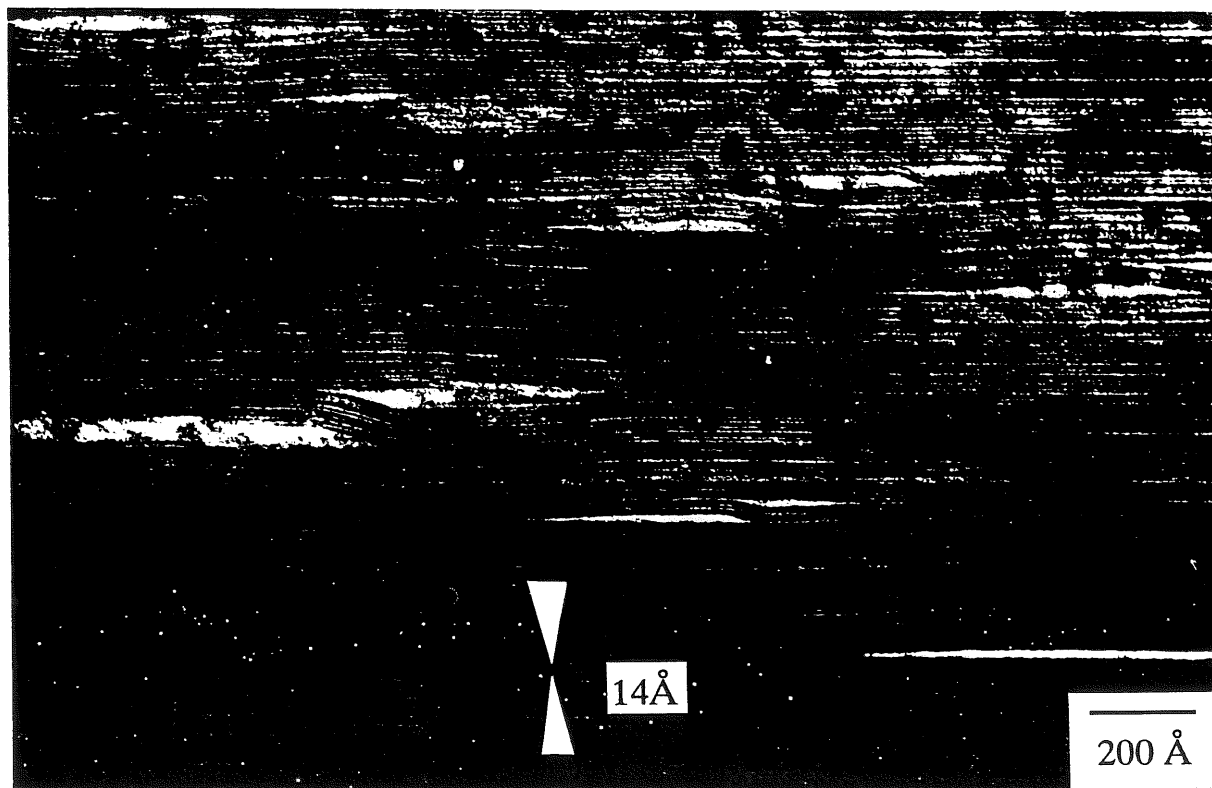


FIG. 8.5. Immagine ad alto ingrandimento relativa alla regione più "lacerata" di FIG.8.2 della clorite del campione C-A5, da una metapelite del Comelico.

possibile notare come alcuni di questi pacchetti si tronchino bruscamente all'interno di queste lenti, nelle quali è possibile inoltre individuare aree a diverso contrasto. Per questo motivo potrebbe essere avanzata l'ipotesi che a livello di queste lenti chiare ci sia del materiale cristallino nel quale si sono formati nuovi pacchetti di clorite. La periodicità definita dall'alternanza delle frange chiare e scure è di $14\text{\AA}$ anche se, nella parte superiore dell'immagine, tra due frange scure più spesse si individua una frangia scura più sottile che darebbe origine ad una periodicità di $7\text{\AA}$. AMOURIC *et al.* (1988), GUTHRIE & VEBLEN (1990) hanno messo in evidenza come, in condizioni di defocus o per variazioni dello spessore, è possibile ottenere immagini ad alta risoluzione di cloriti con periodicità a $7\text{\AA}$, che risultano pertanto artefatti di sistema.

L'analisi chimica ottenuta col sistema EDS in regioni di qualche centinaio di $\text{\AA}$ nelle zone difettive e nelle zone regolari relative alla FIG. 8.2, non evidenziano significative differenze compositive (dati chimici in a.f.u.).

	Mg	Al	Si	K	Fe
regione difettiva	3.26	4.60	4.99	0.28	7.59
regione regolare	3.35	4.65	4.86	0.15	7.78

Gli spettri di diffrazione ottenuti in altre porzioni della stessa lamella hanno permesso l'identificazione, oltre che del politipo regolare a 2-pacchetti, di politipi semirandom e politipi regolari ad 1-pacchetto.

8.3.2 Campione 16 (da una metapelite di Recoaro).

La lamella di clorite selezionata da questo campione di metapelite è situata a contatto con muscovite all'interno di un livello lepidoblastico. Tale lamella risulta orientata perpendicolarmente rispetto alla direzione dei piani di scistosità prevalente. L'analisi delle compatibilità mineralogiche colloca le metapeliti di Recoaro nella fascia termica corrispondente alla zona a clorite della facies degli scisti verdi.

L'aspetto tipico dei pacchetti di clorite rilevabile dalle immagini a basso ingrandimento viene presentato in FIG. 8.6. Nel caso specifico, un aggregato di pacchetti di strati di clorite (contrassegnati dai numeri 1, 2, 3) è compreso tra due pacchetti di muscovite. I pacchetti di clorite sono caratterizzati dalla presenza di frange di spessore.

Dallo spettro di diffrazione elettronica SAED con orientazione $c^*-[110]^*$ (FIG. 8.7), ottenuto a cavallo tra le unità 2 e 3 (FIG. 8.6), è possibile riconoscere un politipo regolare

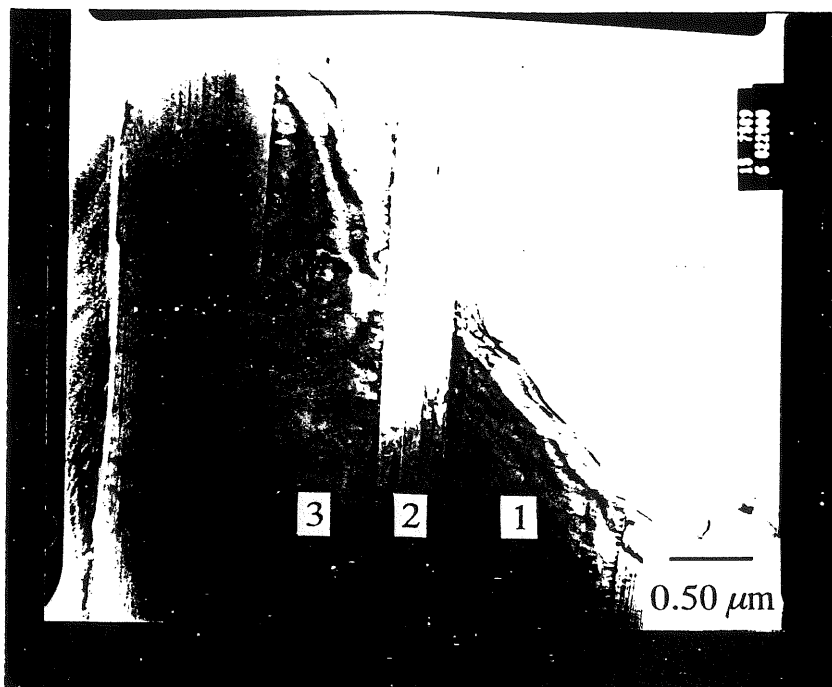


FIG. 8.6. Immagini a basso ingrandimento di pacchetti di clorite e muscovite nel campione 16 delle metapeliti di Recoaro. I pacchetti di clorite sono contrassegnati dai numeri 1, 2, 3 (commento nel testo).

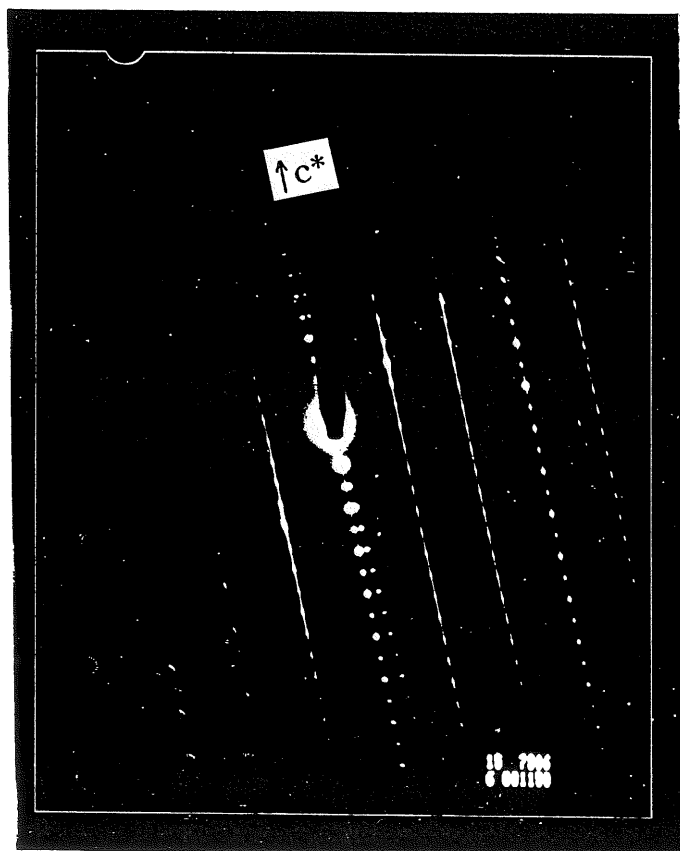


FIG. 8.7. Spettro di diffrazione elettronica della clorite con orientazione c^* - $[110]^*$. Politipo regolare ad 1-pacchetto nel campione 16 delle metapeliti di Recoaro.

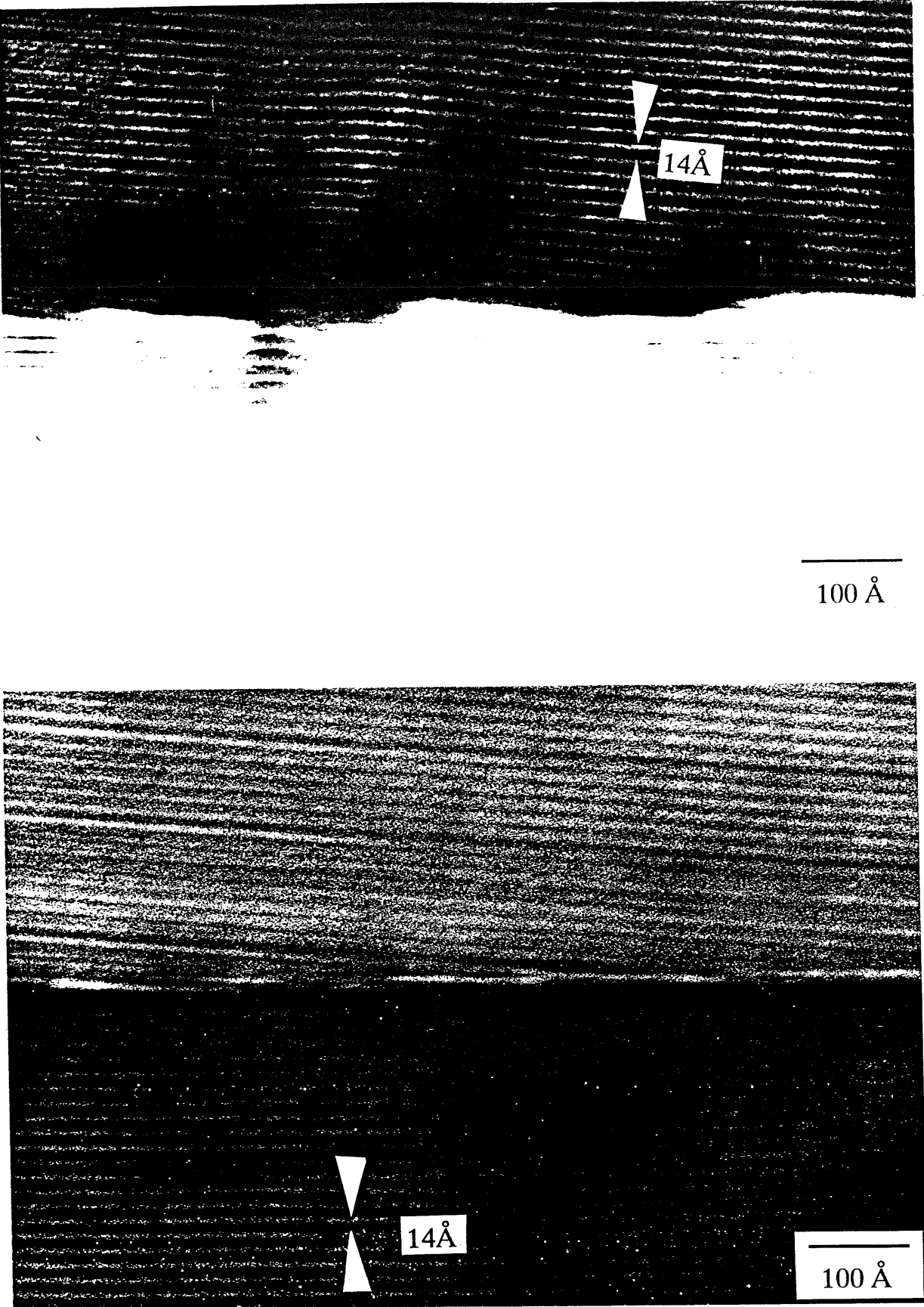


FIG. 8.8.a,b. Immagine ad alto ingrandimento di diverse modalità di contatto a basso angolo tra pacchetti di clorite nel campione 16 da una metapelite di Recoaro. a: Nel pacchetto superiore, inclinato di 5° rispetto a quello inferiore, si nota la troncatura di due strati di clorite lungo il contatto; b: l'angolo tra i due pacchetti di clorite decresce da sinistra verso destra.

ad 1-pacchetto con una certa striatura ("streaking") lungo i filari con $k \neq 3n$.

L'analisi chimica in EDS ha fornito i seguenti risultati (dati chimici in a.f.u.):

		Al	Si	K	Fe
pacchetto di strati 2	3.18	5.84	5.22	0.04	5.56
pacchetto di strati 3	3.30	5.78	5.37	0.07	5.21

Le immagini ad alta risoluzione relative a questa regione presentano frange dritte con impilamento molto regolare, senza difetti e periodicità a $14\text{\AA}$.

Nell'ambito dell'unità 3 si sono potute osservare due diverse modalità di contatto a basso angolo tra cristalli con orientazioni diverse ("low-angle grain boundary"). Nell'immagine ad alta risoluzione di FIG. 8.8a, il contatto è parallelo ai piani 001 di un cristallo ed è inclinato di 5° rispetto ai piani 001 dell'altro. Il contatto determina, nel cristallo superiore, la troncatura di due strati di clorite. Sempre nel cristallo superiore si nota, inoltre, un leggero "kinking". L'interpretazione di questo fenomeno (BREARLEY, 1990) lascia aperte varie ipotesi. Potrebbe trattarsi di un pacchetto di strati che si sta accrescendo a spese dell'altro, oppure di una deformazione che ha avuto luogo durante la crescita. Nel secondo esempio di contatto a basso angolo (FIG. 8.8b), l'angolo tra i due cristalli non è costante bensì decresce se si guarda da sinistra verso destra. I pacchetti di clorite posti subito sopra e sotto il contatto vanno (da sinistra a destra) rendendosi paralleli.

8.3.3. Campione REC 4 (da una metabasite di Recoaro).

La lamella di clorite scelta per lo studio al T.E.M. è cristallizzata nell'ambito dei letti lepidoblastici. L'orientazione di tale lamella risulta perpendicolare rispetto alla direzione dei piani di scistosità S_1 . Le condizioni termiche del metamorfismo che ha interessato queste rocce possono essere riferite alla zona a clorite-actinolite della facies degli scisti verdi.

Questo campione è risultato essere particolarmente interessante per dimensioni e forme dei cristalli. I pacchetti di clorite infatti hanno dimensioni abbastanza piccole relativamente agli altri campioni, e presentano forme particolari soprattutto lungo ai bordi. Le loro estremità possono apparire allargate a forma di "delta" oppure sfrangiate in tante unità più piccole. A volte i pacchetti sembrano piegati, deformati e presentano chiazze chiare e scure dovute a diversi effetti di contrasto tra strati con diversa

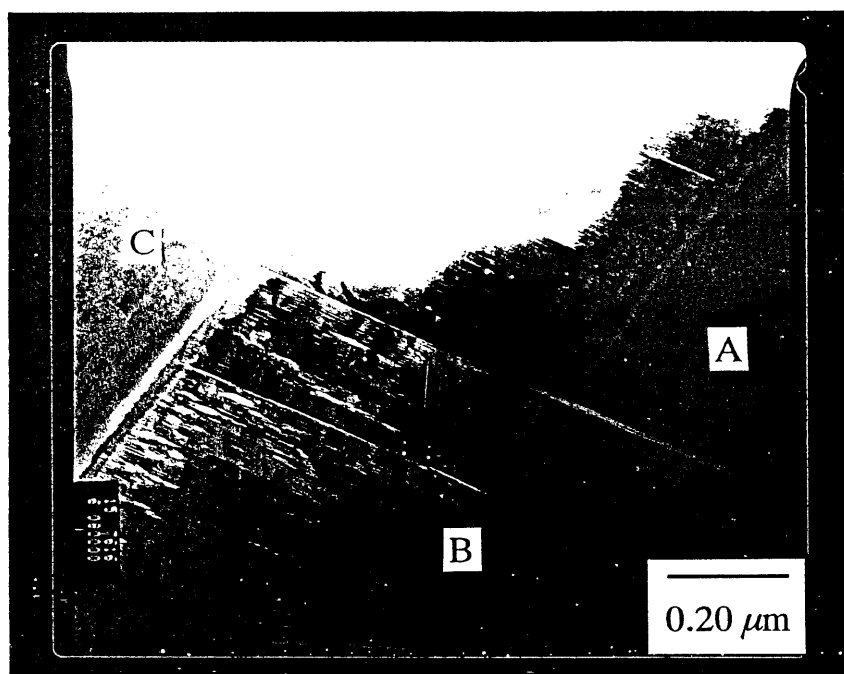


FIG. 8.9. Immagine a basso ingrandimento di pacchetti di clorite nel campione REC4 (da una metabasite di Recoaro). Si individuano le unità A, B, C (commento nel testo).

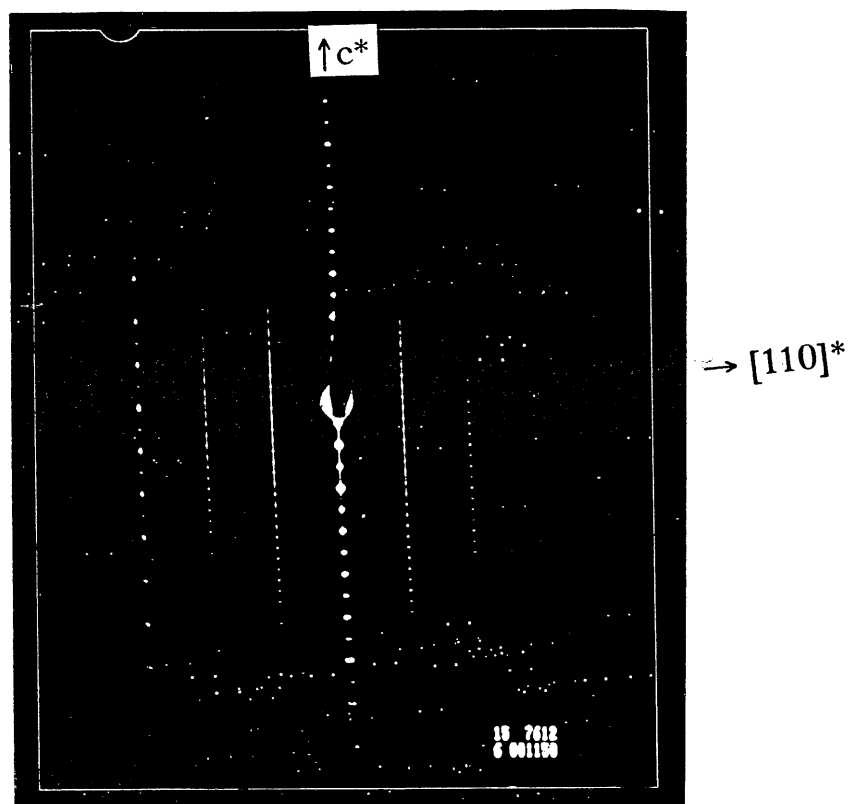


FIG. 8.10. Spettro di diffrazione elettronica della clorite relativo alla unità A di FIG. 8.9. Orientazione c^* - $[110]^*$. Politipo regolare a 2-pacchetti.

orientazione.

L'immagine a basso ingrandimento di FIG. 8.9. mostra un aggregato di pacchetti di clorite in cui si distinguono tre unità chiamate A, B, C. Le unità A e B, che formano un angolo di 90° con l'unità C, sono caratterizzate da pacchetti di clorite paralleli tra loro caratterizzati da un aspetto abbastanza regolare in A e più difettivo (cioè più "lacerato") in B. E' evidente inoltre, in entrambe le unità, la distinzione tra un nucleo centrale apparentemente più omogeneo ed un bordo dove il contrasto non è omogeneo.

Lo spettro ottenuto per diffrazione elettronica nell'unità A, mostra una sezione $c^*-[110]^*$ con periodicità a $28\text{\AA}$ lungo i filari $11l$, $22l$. (FIG. 8.10). Si tratta di un politipo regolare a 2-pacchetti con leggero "streaking". Da una prima comparazione visiva delle intensità delle diffrazioni lungo i filari $11l$ e $22l$ con le intensità calcolate riportate in Appendice non è stato possibile riconoscere alcuno dei politipi MDO.

Le immagini ad alta risoluzione relative alla stessa unità (A) presentano generalmente frange dritte, parallele, senza difetti di impilamento, con periodicità a $14\text{\AA}$. Tuttavia sono state notate delle fasce (FIG. 8.11) dove apparentemente le frange regolari si interrompono lateralmente e passano a frange dall'aspetto ondulato ("wavy layers": MELLINI *et al.* 1991). I pacchetti di clorite regolare posti sopra e sotto ai pacchetti ondulati formano tra loro un certo angolo. L'area difettiva, quindi, potrebbe rappresentare del materiale che sta cristallizzando al contatto tra due cristalli.

Le immagini "lattice fringe" effettuate, invece nella unità B, presentano pacchetti di clorite con periodicità regolare spessi dai 50 ai $100\text{\AA}$, che si alternano a zone in cui la periodicità è estremamente irregolare (FIG. 8.12). Si notano inoltre zone "amorfe" con assenza di contrasto (chiazze bianche), dovute probabilmente a danno prodotto dal fascio elettronico, e zone di chiaro-scuro dovute alla diversa orientazione dei pacchetti probabilmente per effetto di deformazioni.

L'analisi chimica con EDS eseguita nelle unità A e B ha fornito i seguenti dati (in a.f.u.):

	Mg	Al	Si	K	Fe
unità A	6.25	5.92	6.02	0.03	0.79
unità B	5.95	5.59	6.11	0.04	1.76

Il contenuto quasi nullo di K indica assenza di intercrescite con miche. Inoltre, dal confronto dei dati chimici effettuati sulle due unità (A e B), sembrerebbe che la zona

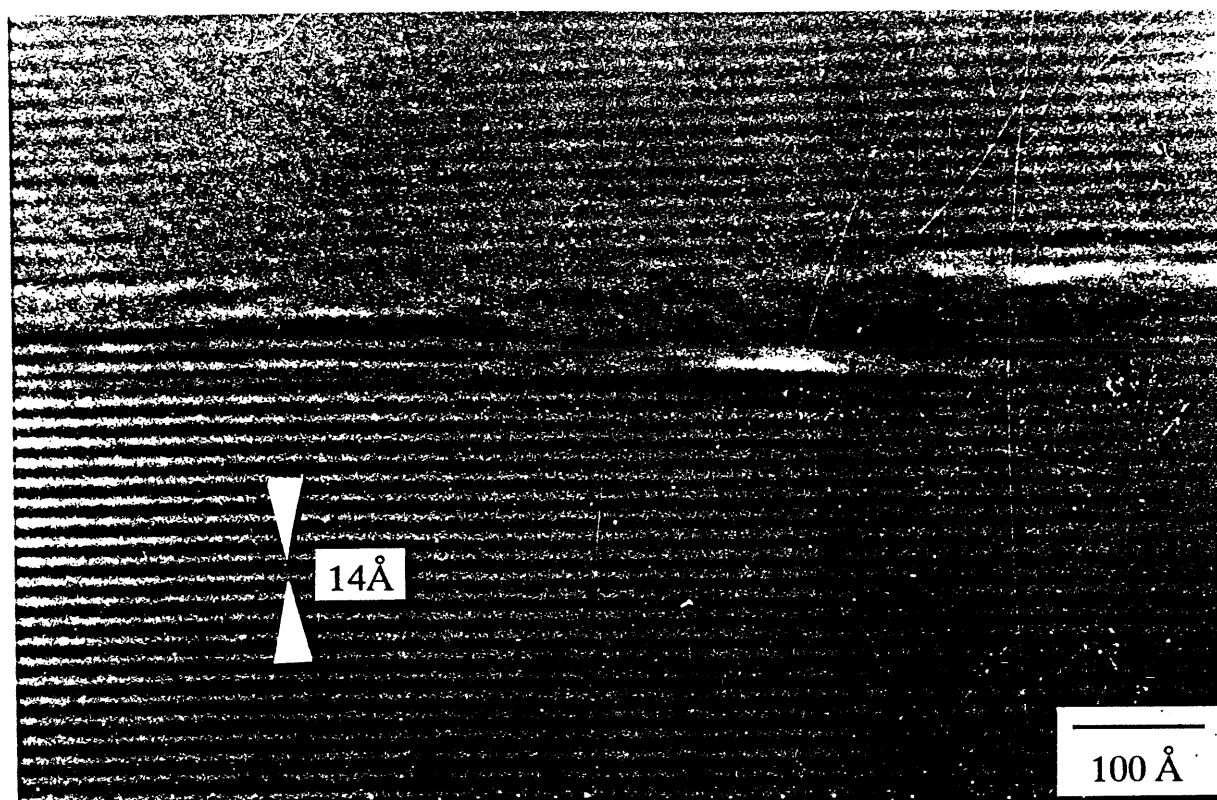


FIG. 8.11. Immagine ad alto ingrandimento della clorite relativa all'unità A di FIG. 8.9. Frange regolari si alternano a frange ondulate ("wavy layers").



FIG. 8.12. Immagine ad alto ingrandimento relativa all'unità B di FIG. 8.9. Pacchetti di clorite con periodicità regolare si alternano a zone con periodicità irregolare e zone amorfe prive di contrasto.

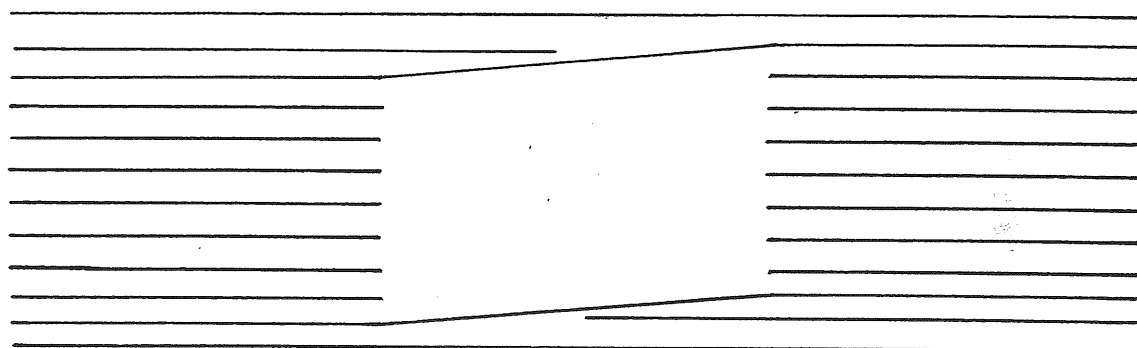
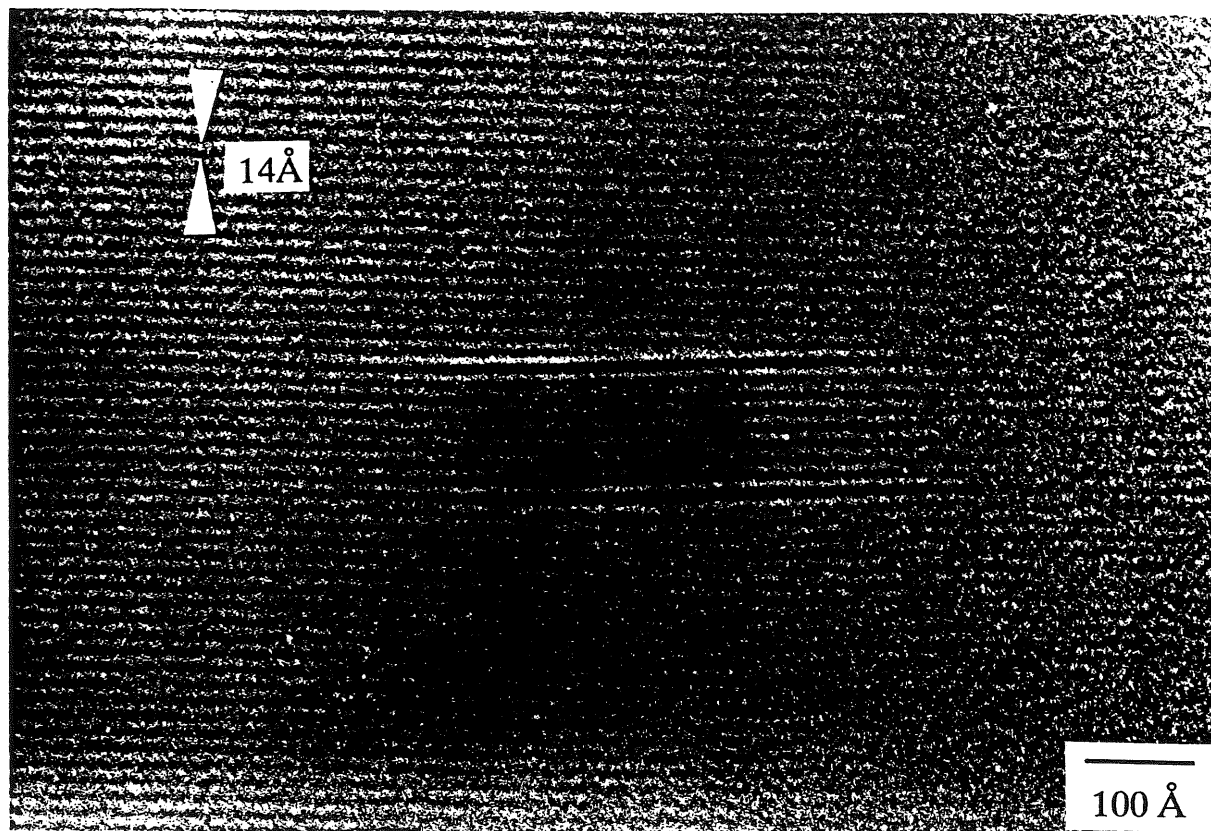


FIG. 8.13. a: Immagine ad alto ingrandimento di una sequenza di sette strati di clorite con diversa orientazione rispetto agli strati adiacenti (campione REC4, metabasiti di Recoaro); b: disegno che riproduce la sequenza di sette strati dell'immagine (a). Si noti il particolare del passaggio laterale da due ad uno solo strato di clorite.

difettiva (B) sia più ricca in Fe e più povera in Mg della zona regolare (A).

In generale, comunque, le immagini ad alta risoluzione ottenute in altri siti della stessa lamella, mostrano la prevalenza di pacchetti di clorite molto regolari, privi di intercrescite con altre fasi mineralogiche, senza difetti di impilamento. Un particolare curioso è riportato in FIG. 8.13a. In questo "lattice fringe" una piccola zona costituita dalla sequenza di 7 strati di clorite (circa 100Å di spessore) presenta una deviazione a leggero angolo. Gli strati di clorite immediatamente sopra e sotto tale sequenza terminano lateralmente, facendo sì che da due strati di clorite se ne formi lateralmente solo uno (vedasi disegno in FIG. 8.13b). La differenza di contrasto che caratterizza quest'area è indicativa di una diversa orientazione dei pacchetti che provoca diversi effetti di diffrazione.

Per quanto riguarda il politipismo, oltre al politipo regolare a 2-pacchetti, è stato osservato un politipo regolare a 1-pacchetto e un politipo riferibile probabilmente a una sequenza multipacchetto (FIG. 8.14a). L'evidente "streaking" lungo i filari con $k \neq 3n$ impedisce l'indicizzazione delle macchie di diffrazione in questo spettro. In realtà lo "streaking" è limitato alla zona centrale, mentre alle estremità di tali filari (l'ingrandimento viene presentato in FIG. 8.14b) si notano effetti di diffrazione un po' più risolti riconducibili ad una periodicità multipla (probabilmente politipi a 5-pacchetti). In letteratura fino ad oggi sono stati riportati rarissimi esempi di politipi multipacchetto ed un solo esempio di politipo a 5-pacchetti (SCHREYER, 1980).

(il testo continua a pag. 144)

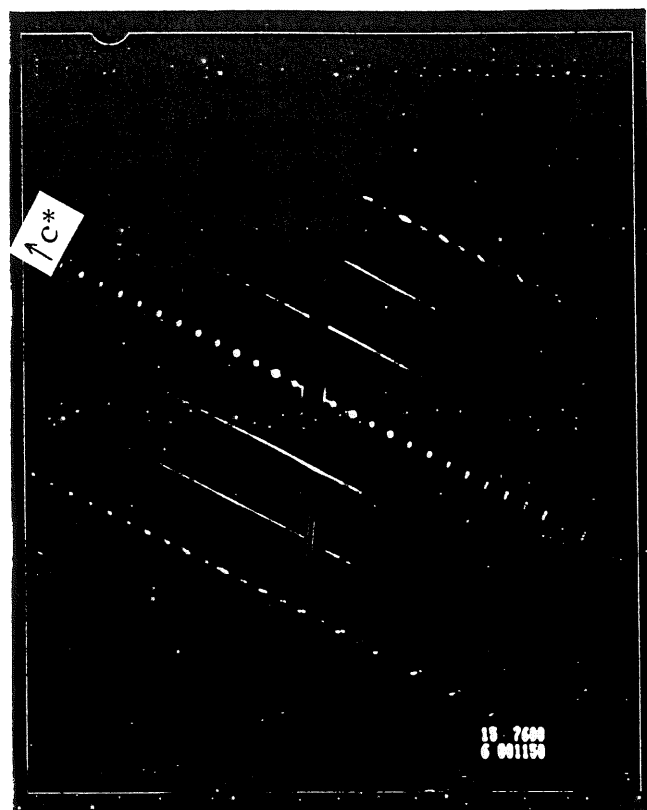


FIG. 8.14. a: Spettro di diffrazione elettronica della clorite nel campione REC4 da una metabasite di Recoaro: politipo apparentemente "semi-random", che tuttavia presenta alle estremità dei filari effetti di diffrazione un po' più risolti; b: ingrandimento degli effetti di diffrazione più risolti, dal quale è possibile contare almeno quattro "spot" (probabile politipo a 5-pacchetti).

8.3.4. Campione Lu82-10 (da una metapelite di Lusón).

La lamella di clorite scelta per questo studio è una lamella cristallizzata lungo i piani di scistosità prevalente (S_2). L'associazione mineralogica presente nelle metapeliti di Lusón (clorite + biotite + granato) è tipica della zona a granato almandino della facies degli scisti verdi.

I cristalli di clorite, in questo campione, appaiono ben cristallizzati e con forme euedrali. L'aspetto è generalmente regolare.

Sono stati riscontrati, nell'ambito della stessa lamella, diversi politipi: 1) semirandom; 2) regolare ad 1-pacchetto; 3) regolare a 2-pacchetti. Dal confronto visivo delle intensità delle macchie di diffrazione lungo i filari $k \neq 3n$ con le intensità calcolate (paragrafo 10.3 e Appendice), nessuno di questi politipi può essere riferito ad un particolare gruppo MDO (secondo la Teoria OD). Lo spettro di diffrazione elettronica in FIG. 8.15 mostra una sezione c^*-b^* del reticolo reciproco. L'angolo a^* tra i due vettori è uguale a 90° . La $d(020)=4.67\text{\AA}$ è consistente colla misura di $b_0/2$. Le diffrazioni lungo i filari $02l, 04l$ mostrano una periodicità doppia. Lungo c^* e lungo il filare $06l$ la periodicità invece è di $14\text{\AA}$. Il riconoscimento dei politipi a 2-pacchetti è molto complesso. LISTER & BAILEY (1967) hanno calcolato che possono esistere 1134 politipi di questo tipo, di cui 125 con cella ortorombica e 1009 con cella monoclinica. Nella diffrazione elettronica di FIG. 8.15 si riconosce una simmetria triclina (non c'è infatti simmetria delle intensità dei riflessi rispetto a b^*). Mancando la sezione c^*-a^* , e quindi non potendo conoscere b^* , non è possibile dire se la cella è monoclinica o ortorombica.

In generale le immagini ad alta risoluzione realizzate in questo campione mostrano sequenze di pacchetti di clorite molto regolari prive di difetti di impilamento o intercrescite con altri fillosilicati. Le frange chiare e scure sono dritte e parallele e mostrano una periodicità a $14\text{\AA}$ circa FIG. 8.16.

8.3.5 Campione Ro1 (da una metabasite di Rodengo).

Per lo studio in microscopia elettronica delle cloriti delle metabasiti di Rodengo è stata considerata la clorite a contatto con orneblenda caratterizzata da colori di interferenza grigi. Le condizioni termiche del metamorfismo sono riferibili alla zona di più alta temperatura della facies degli scisti verdi (zona ad albite + orneblenda).

Con le immagini a basso ingrandimento si è potuto riscontrare che la clorite di questi campioni cristallizza in lamelle ben sviluppate, euedrali.

L'analisi degli spettri di diffrazione elettronica SAED ha dimostrato che in regioni diverse della stessa lamella le sequenze di impilamento tra pacchetti 2:1 ed interstrato

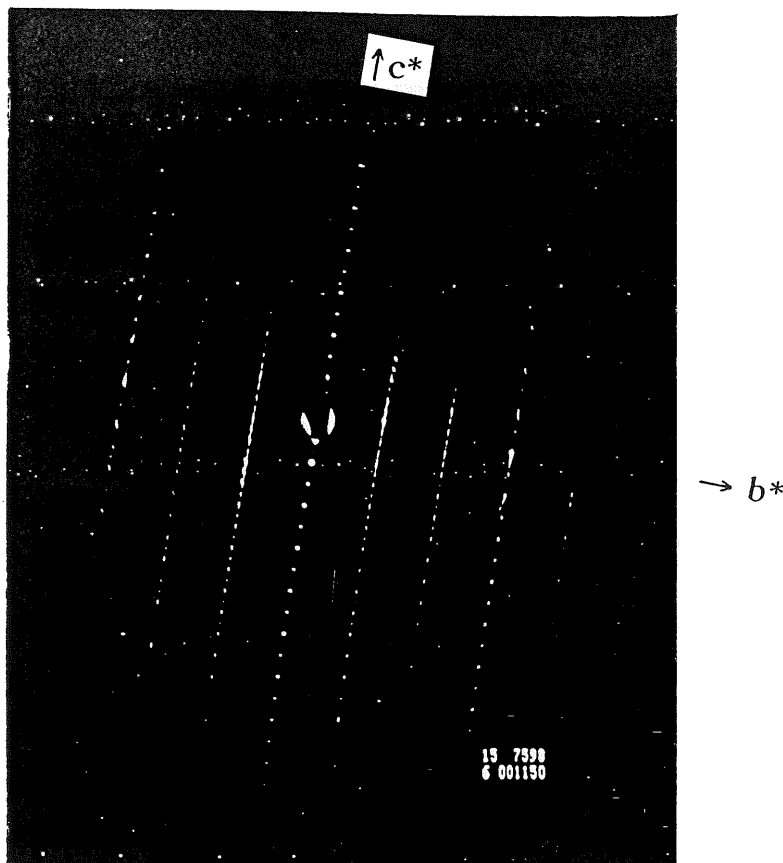


FIG. 8.15. Spettro di diffrazione elettronica della clorite con orientazione c^*-b^* . Politipo regolare a 2-pacchetti nel campione Lu82-10, da una metapelite di Luson.

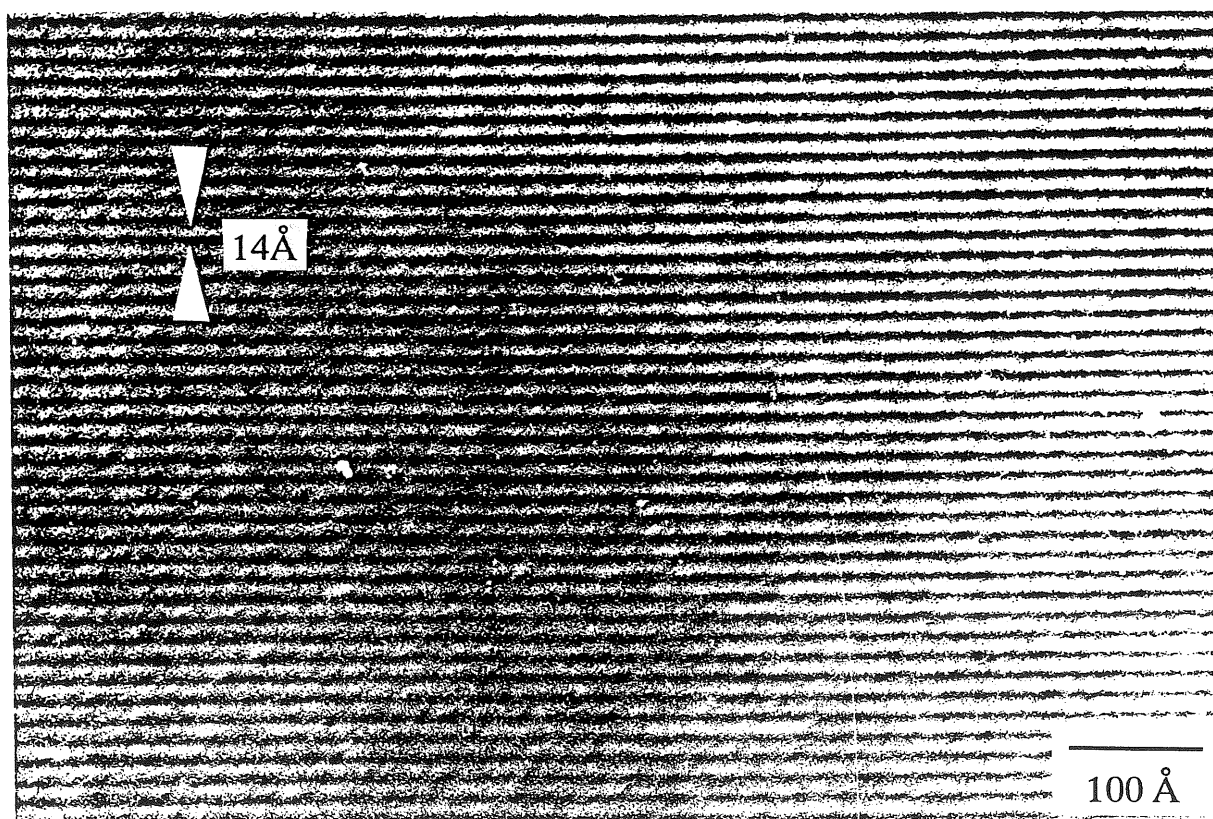


FIG. 8.16. Immagine ad alto ingrandimento relativa alla clorite del campione Lu82-10.

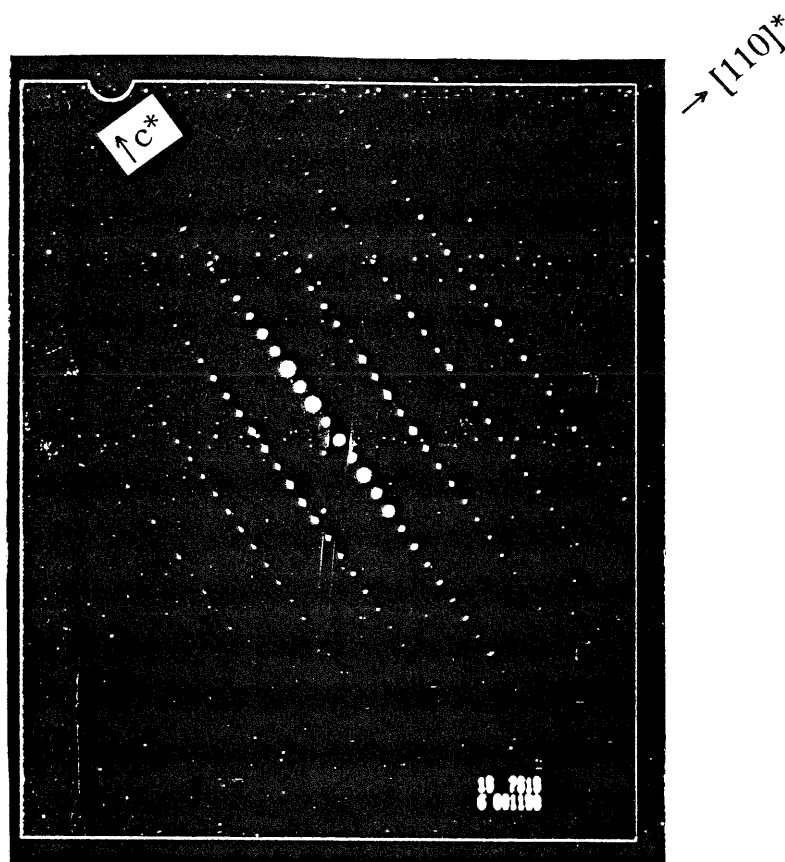


FIG. 8.17. Spettro di diffrazione elettronica della clorite con orientazione $c^*-[110]^*$. Politipo regolare ad 1-pacchetto nel campione Ro1, da una metabasite di Rodengo.

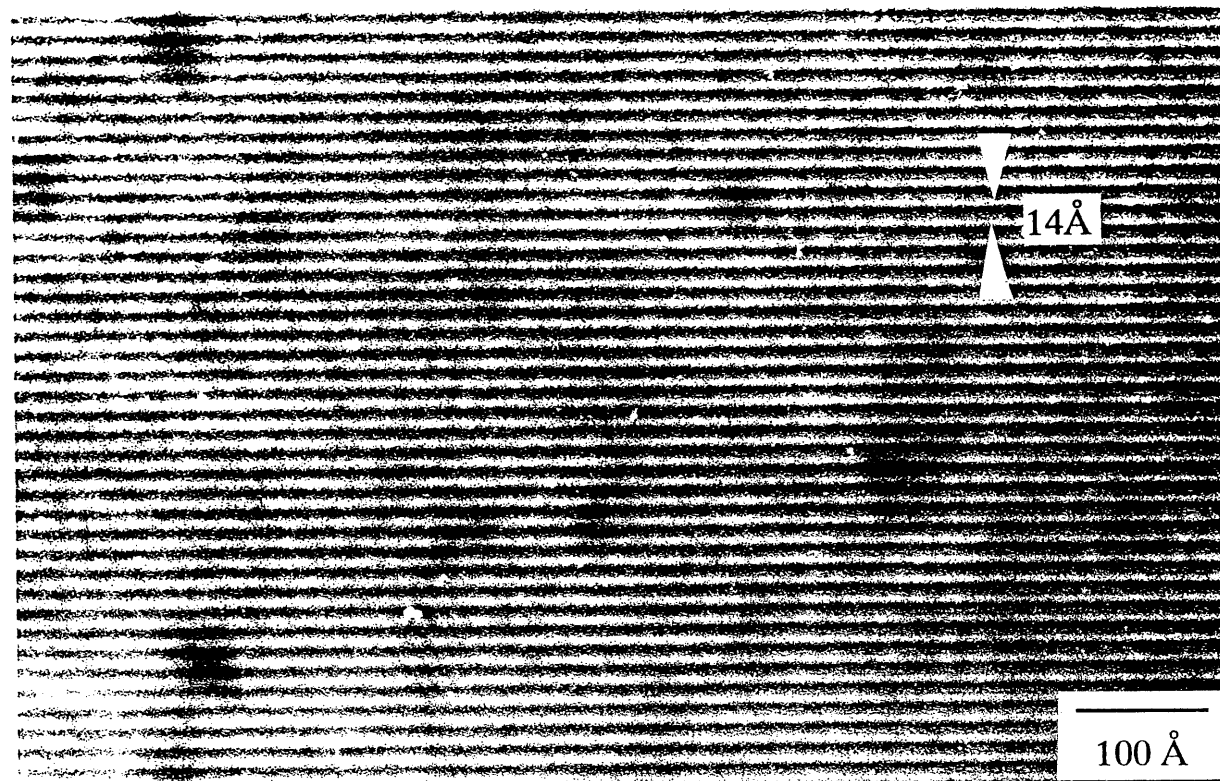


FIG. 8.18. Immagine ad alto ingrandimento relativa alla clorite del campione Ro1, da una metabasite di Rodengo.

possono dare origine: 1) a politipi regolari ad 1-pacchetto con diffrazioni nette e lievissimo "streaking", 2) oppure a politipi nei quali, pur essendo ancora evidenti gli effetti di diffrazione con periodicità a $14\text{\AA}$, l'impilamento ha un notevole grado di disordine evidenziato dallo "streaking" lungo i filari con $k \neq 3n$.

Lo spettro di diffrazione in FIG. 8.17 rappresenta una sezione $c^*-[110]^*$. L'angolo compreso tra i due vettori è di 96° circa e la distanza tra gli effetti di diffrazione lungo $[110]^*$ ($4.59\text{\AA}$) è consistente con la $d(110)$. Si tratta di un politipo regolare ad 1-pacchetto con lievissimo "streaking" lungo i filari con $k \neq 3n$.

Le immagini ad alta risoluzione osservate in questo campione mostrano frange dritte, regolari con andamento parallelo. La periodicità è di $14\text{\AA}$. Un esempio è dato in FIG. 8.18. Le chiazze scure circolari molto probabilmente sono riferibili ad un danno del fascio elettronico ("mottled structures": LEE, 1984).

L'analisi chimica EDS è stata effettuata in due diversi siti (1 e 2) caratterizzati entrambi da immagini ad alta risoluzione estremamente regolari, ma dalle quali sono risultati diversi politipi: sito 1) politipo regolare ad 1-pacchetto (FIG. 8.17) e sito 2) politipo ad 1-pacchetto con un elevato grado di disordine. I contenuti chimici dei principali cationi sono (in a.f.u.):

	Mg	Al	Si	K	Fe
sito 1	6.10	5.58	5.68	0.00	1.91
sito 2	4.95	5.57	5.93	0.00	2.82

La porzione di lamella relativa alla presenza del politipo più ordinato sembrerebbe quindi più ricca in Mg e povera di Fe.

8.4 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le osservazioni fin qui fatte ci permettono di concludere che:

- 1) le lamelle di clorite considerate in questo studio con particolare riferimento a quelle riferibili a condizioni di più bassa temperatura (zona della clorite), dimostrano un buon grado di cristallizzazione. Anche le metapeliti di Comelico e le metabasiti di Recoaro, che pur presentano regioni delle lamelle con difettualità estese ove il materiale è in via di organizzazione cristallina, hanno dimostrato un buon grado di cristallinità su gran parte delle aree analizzate;
- 2) non sono state osservate presenze significative di altre fasi (quali miche etc.)

interstratificate, come dimostrato dalla periodicità prevalentemente a $14\text{\AA}$ riscontrata su ampie regioni delle lamelle e dai contenuti bassi o nulli di K nelle analisi EDS;

3) nella stessa lamella possono coesistere politipi diversi. La non osservazione delle sezioni c^*-a^* non ha permesso di determinare le sottofamiglie A, B, C, D (WEISS & DUROVIC, 1983) (tipo strutturale IIa, Ia, IIb, Ib, secondo BAILEY & BROWN, 1962). Le sezioni c^*-b^* , $c^*-[110]^*$ hanno invece permesso di riconoscere i politipi: a) semirandom; b) regolari ad 1-pacchetto; c) regolari a 2-pacchetti; d) regolari multipacchetto (secondo la terminologia di BAILEY & BROWN, 1962). Non è stato invece possibile identificare alcuno dei politipi MDO mediante un primo confronto tra le intensità delle diffrazioni osservate lungo i filari $02l$, $04l$, $11l$, $22l$ e quelle calcolate (vedasi paragrafo 10.2) riportate in Appendice. Probabilmente la presenza di più politipi nell'ambito della stessa lamella influisce sulla intensità risultante negli spettri di diffrazione elettronica. Bisogna inoltre ricordare che, a differenza dei raggi X, gli elettroni possono fortemente interagire con gli atomi del campione, con conseguente diffusione ("scattering") degli elettroni stessi che danno luogo alla "diffrazione dinamica". Le intensità dei riflessi in diffrazione elettronica non sono pertanto facilmente confrontabili con quelle dei riflessi in diffrazione X (ove si ha la diffrazione cinetica), e ciò può spiegare le difficoltà incontrate nella valutazione dei politipi MDO con questa metodica.

In ultima analisi i risultati di queste analisi TEM ci consentono di considerare, sia nella zona delle chloriti che in quelle di più alto grado metamorfico, le chloriti oggetto di questo studio sostanzialmente esenti da interstratificazioni submicroscopiche con altre fasi, informazione che era essenziale per gli scopi prevalenti di questa ricerca.

9. CHIMISMO DELLE CLORITI DELLA FACIES DEGLI SCISTI VERDI: NUOVI DATI

9.1 INTRODUZIONE

Per ogni gruppo di cloriti da me analizzate, i dati compositivi ottenuti vengono in questo capitolo presentati e discussi in sei punti successivi da A a F, concepiti in modo tale da determinare una netta separazione fra presentazione dei dati (punti da A a E) e una prima loro interpretazione (punti F).

A) Numero delle analisi effettuate, numero e natura dei campioni.

B) Visione d'insieme della localizzazione di ogni punto rappresentativo nel campo di variabilità compositiva delle cloriti da me proposte per il dato litotipo; a tale scopo vengono utilizzati il diagramma $Al^{VI}+2Ti+Cr$ vs. Al^{IV} , ed il diagramma Mg^{2+} vs. Fe^{2+} , con i seguenti intervalli di variazione:

per le cloriti di metapeliti e per quelle di metarioliti:	Al^{IV}	da 2.0 a 4.0
	$Al^{VI}+2Ti+Cr$	da 2.0 a 4.0
	Mg^{2+}	da 0 a 10
	Fe^{2+}	da 0 a 10
per le cloriti di metabasiti:	Al^{IV}	da 1.0 a 3.0
	$Al^{VI}+2Ti+Cr$	da 1.0 a 3.0
	Mg^{2+}	da 0 a 10
	Fe^{2+}	da 0 a 10

La scelta di questi campi compositivi convenzionali è basata sulla intera banca dati a mia disposizione.

La scelta di questi diagrammi è basata sui seguenti motivi:

- *il diagramma $Al^{VI}+2Ti+Cr$ vs. Al^{IV}* ben rappresenta sia l'entità della sostituzione TK che quella della sostituzione AM. La prima è indicata dalla distanza lungo la freccia dal punto con coordinate $x=2$, $y=2$ che rappresenta il termine estremo ("end-member") clinocloro - chamosite: $[(Mg,Fe^{2+})_{10}Al_2]^{VI}(Si_6Al_2)^{IV}O_{20}OH_{16}$. Quanto alla seconda: i) i punti che cadono sulla freccia rappresentano cloriti in cui non è presente una sostituzione diottaedrica, ii) i punti che cadono nel campo soprastante la freccia rappresentano cloriti in cui è avvenuta una sostituzione diottaedrica, che è tanto maggiore quanto maggiore è la distanza dalla freccia, iii) i punti che cadono nel campo sottostante la freccia rivelano la presenza di altri ioni trivalenti, come ad es. il Fe^{3+} , nella struttura della clorite, in misura tanto maggiore quanto maggiore è la distanza dalla freccia;

- *il diagramma Mg^{2+} vs. Fe^{2+}* invece ben rappresenta la sostituzione FM. E' importante sottolineare che il Fe^{2+} rappresenta in realtà il Fe_{tot} , dato che la microsonda elettronica

non è in grado di rilevare le differenze di energia indotte dallo stato di ossidazione; tuttavia è noto dalla letteratura che il rapporto $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}_{\text{tot}}$ nelle cloriti non supera il $10 \pm 5\%$ del Fe_{tot} (vedasi paragrafo 3.3.3). Questo dato è stato confermato dall'analisi in spettroscopia Mössbauer effettuata sulla clorite del campione 94 delle metapeliti della Val Sarentino, per la quale è stato stimato un contenuto di Fe^{3+} di circa il 4% rispetto al Fe_{tot} (vedasi CAP.11).

C) Classificazione delle cloriti: *i)* secondo la nomenclatura AIPEA (BAILEY, 1980); *ii)* secondo la classificazione di HEY (1954); *iii)* secondo la classificazione di Weiss (1991) e ZANE & WEISS (1996).

D) Precisazione del microsistema relativo alle lamelle analizzate: infatti, poichè questa ricerca riguarda le cloriti di associazioni non limitanti, il chimismo del microsistema in cui la data clorite è cristallizzata è un parametro importante. Esso viene qui precisato mediante descrizione del sito microstrutturale in cui la singola lamella analizzata è situata. Per comodità espositiva, i vari microsistemi vengono indicati da una breve sigla basata sui minerali a contatto con le lamelle analizzate (simboli di Kratz, 1983), e con un'indicazione al pedice relativa a caratteri microstrutturali.

E) Descrizione delle peculiarità compositive delle cloriti dei vari siti (microsistemi) considerati, con l'ausilio di una tabella di dati statistici e degli stessi diagrammi considerati al punto B), ma espansi al massimo per meglio vedere la precisa localizzazione dei punti rappresentati.

F) Quadri interpretativi dei dati presentati e commentati relativi ai cinque punti precedenti, suggerendo motivatamente quelli che oggettivamente meglio rappresentano le condizioni T, P pertinenti a quel dato gruppo di cloriti.

Va precisato che nei punti da A ad F i dati analitici vengono presentati tal quali o mediante una statistica elementare: media aritmetica e deviazione standard. Solo nel cap. 9.6 i gruppi e sottogruppi considerati vengono rappresentati mediante una statistica lievemente più elaborata, e precisamente con una croce il cui centro corrisponde alla medie dei parametri chimici in ascissa ed ordinata, ed in cui i semiassi corrispondono all'intervallo di $1.96 \ s / \sqrt{n}$ (s = deviazione standard e n = numero di analisi), rispettivamente dei parametri chimici in ascissa ed ordinata.

9.2 PROCEDURE ANALITICHE

Le analisi in microsonda elettronica sono state effettuate su 54 sezioni sottili lucide. Dopo un preliminare studio ottico utile a selezionare i siti microstrutturali di interesse, le sezioni sono state metallizzate con uno spessore standard prossimo a $200 \text{ \AA}$ di grafite.

Per ciascuna sezione (rappresentativa di un campione) sono state analizzate non meno di tre lamelle su ognuna delle quali, in base alle dimensioni della grana, sono stati effettuati da sei a dodici punti analisi.

La microsonda elettronica utilizzata per questo lavoro è una CAMECA/CAMEBAX con 4 spettrometri verticali a dispersione di lunghezza d'onda (WDS) (Centro Studi per la Geodinamica Alpina presso il Dipartimento di Mineralogia e Petrologia dell'Università di Padova). Gli standards utilizzati sono prevalentemente ossidi o silicati scelti in base all'alta omogeneità e concentrazione dell'elemento da dosare, caratteri che assicurano bassi errori nella misura dei conteggi. In particolare sono stati utilizzati gli ossidi sintetici MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnTiO_3 rispettivamente per gli elementi Mg, Al, Fe, Mn e Ti, Ca SiO_3 per Ca e Si, albite ed ortoclasio naturali per Na e K.

Data l'importanza che riveste ai fini di questo studio l'affidabilità del dato chimico, particolare attenzione è stata dedicata all'individuazione delle condizioni ottimali d'analisi della microsonda elettronica per cloriti. Tenendo anche conto del fatto che le lamelle di clorite nei miei campioni, che sono tutti di basso grado metamorfico, hanno generalmente piccole dimensioni (anche solo $10\ \mu$ di larghezza) le condizioni più idonee individuate sono risultate essere: 15kV, 15 nA, $t=20\text{s}$, $\varnothing=1\mu$ dove:

kV= tensione di accelerazione; nA= intensità di corrente; t= tempo di acquisizione; $\varnothing$ = diametro del fascio.

Tali condizioni permettono di raggiungere una buona precisione nell'analisi evitando il danneggiamento del campione dovuto al fascio elettronico. La statistica di conteggio permette di valutare gli errori caratteristici per gli elementi analizzati nelle cloriti, questi sono tipicamente: inferiori all'1% per Si, Mg e Al, dell'1% per il Fe, dal 3 al 5% per Ti e Mn, dal 5 all'8% per il Ca e prossimi o superiori al 10% per Na e K.

Il programma PAP della CAMECA è stato utilizzato per la conversione degli impulsi in percentuali in peso.

Per valutare la ripetitività del dato e definire pertanto un errore sistematico generale sono stati ripetuti più cicli di analisi in tempi diversi su uno stesso campione particolarmente omogeneo dal punto di vista ottico (campione 3373N, micascisto a granato, staurolite, biotite e clorite), per un totale di 89 analisi ripartite egualmente in 3 cicli di misurazioni. Il risultato ha mostrato scostamenti massimi contenuti entro il 2% per gli elementi maggiori.

Per quanto concerne la precisione dei dati analitici in tutti i diagrammi utilizzati nel presente capitolo si fa notare che l'errore analitico è ampiamente contenuto nelle dimensioni del simbolo.

9.3 CHIMISMO DELLE CLORITI DI BASSA PRESSIONE

9.3.1 Cloriti di metapeliti.

9.3.1.1 Gruppi di bassa temperatura

LE CLORITI DELLE METAPELITI DEL COMELICO ($n=98$)

Dato che i campioni selezionati si presentano simili tra loro per situazione microstrutturale e composizione, i dati analitici relativi ai campioni studiati vengono trattati globalmente.

A) Sono state realizzate complessivamente 98 analisi su 14 lamelle di clorite di quattro campioni selezionati (C2, C3, C-A5, C-A11).

B) Nei diagrammi di FIG. 9.1a,b è possibile dare un primo sguardo d'insieme sulla composizione delle cloriti nei quattro campioni studiati. Dalla distribuzione e localizzazione dei punti rappresentativi si deduce anzitutto una variabilità compositiva relativamente ristretta delle lamelle analizzate. Si nota inoltre che è presente sia una sostituzione tschermakitica rispetto alla posizione dell'"end-member" clinocloro-chamosite che cade nel punto di origine della freccia, che una certa sostituzione diottaedrica indicata dalla distanza dei punti dalla freccia.

Molto piccola è la variabilità di Fe e Mg.

C) Queste cloriti possono essere classificate come:

- i) chamositi magnesifere secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) ripidoliti (FIG. 9.2a) secondo il diagramma classificativo di HEY (1954);
- iii) Mg-cloriti tri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) (FIG. 9.2b) con formula schematica $X_{24}Mg_{32}Fe_{44}$.

D) Nell'ambito delle sezioni studiate sono stati individuati diversi siti microstrutturali. Le lamelle analizzate infatti, tutte cristallizzate parallelamente alla scistosità prevalente S_1 , provengono sia da letti lepidoblastici che lepidogranoblastici. Sono state analizzate cloriti nei seguenti siti:

- 1: "Chl-Ms" (59 analisi): si tratta di sette lamelle di clorite sincinemica a contatto con muscovite;
- 2: "Chl-Ms-Qtz" (28 analisi): si tratta di cinque lamelle di clorite sincinemica a contatto con muscovite e quarzo;

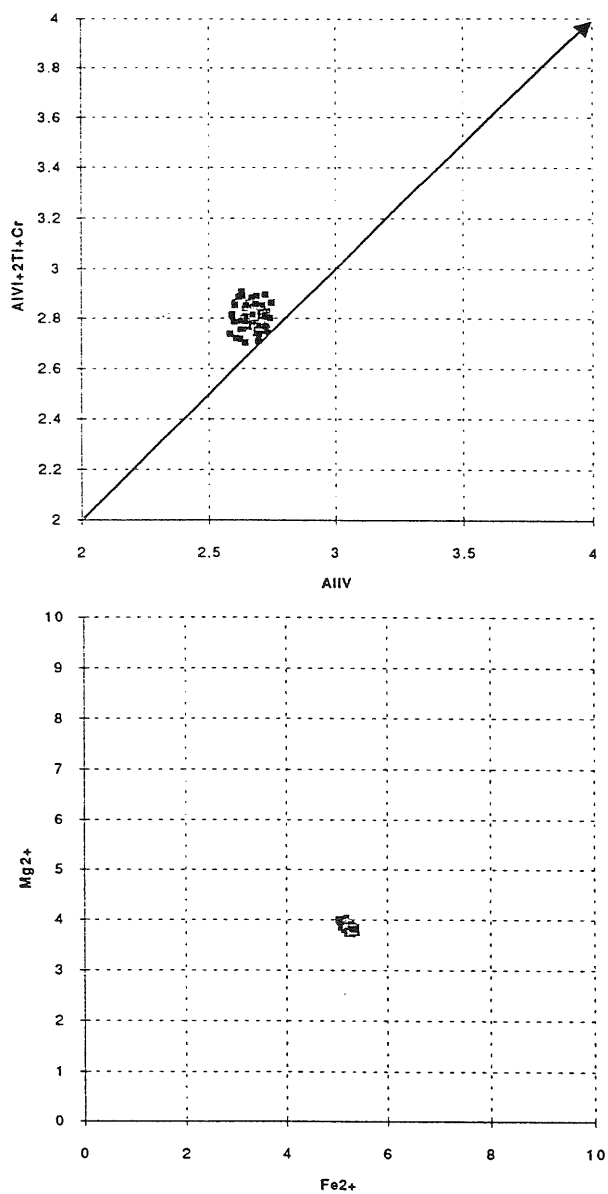


FIG. 9.1a,b. Le cloriti delle metapeliti del Comelico (98 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metapeliti.

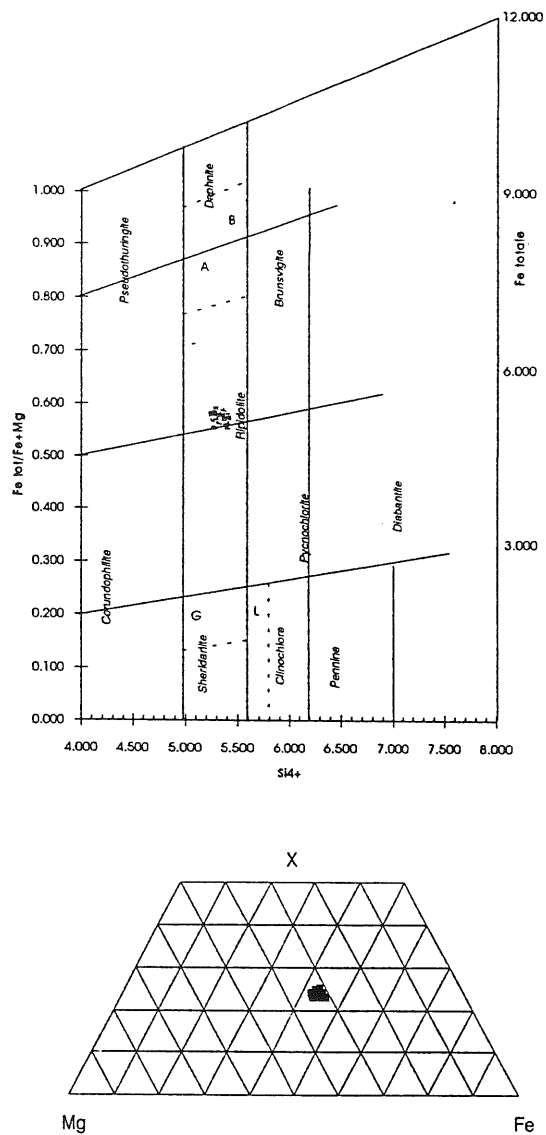


FIG. 9.2 a,b. Le cloriti delle metapeliti del Comelico (98 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996).

TABELLA 9.1. Le cloriti delle metapeliti del Comelico (98 analisi): statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi.

SITO	->	1: Chl-Ms		2: Chl-Ms-Qz		3: Chl-Ilm		dati globali 1+2	
		media(59)	dev.st.	media(28)	dev.st.	media(11)	dev.st.	media(87)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
K ₂ O		0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
MgO		11.94	0.24	11.94	0.26	12.08	0.31	11.94	0.24
FeO		28.80	0.40	28.91	0.47	28.27	0.30	28.84	0.42
Al ₂ O ₃		21.39	0.29	21.29	0.28	21.32	0.24	21.36	0.29
CaO		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
SiO ₂		24.55	0.26	24.51	0.33	24.54	0.31	24.54	0.28
MnO		0.32	0.04	0.33	0.03	0.30	0.04	0.32	0.04
TiO ₂		0.07	0.02	0.07	0.02	0.24	0.05	0.07	0.02
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
Totale		87.13	0.80	87.11	0.81	86.80	0.78	87.13	0.80
Si+4		5.319	0.033	5.317	0.043	5.322	0.039	5.318	0.036
AlIV		2.681	0.033	2.683	0.043	2.678	0.039	2.682	0.036
totIV		8.000		8.000		8.000		8.000	
AlVI		2.782	0.043	2.761	0.038	2.773	0.031	2.775	0.043
Cr+3		0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.005	0.003	0.003
Fe+2		5.219	0.059	5.245	0.083	5.128	0.072	5.227	0.068
Mn+2		0.058	0.008	0.061	0.006	0.054	0.008	0.059	0.007
Mg+2		3.855	0.065	3.860	0.065	3.907	0.065	3.857	0.065
Ti+4		0.011	0.003	0.011	0.002	0.040	0.007	0.011	0.003
totVI		11.928		11.941		11.904		11.932	
K+1		0.007	0.005	0.006	0.005	0.002	0.003	0.007	0.005
Na+1		0.002	0.004	0.002	0.004	0.003	0.005	0.002	0.004
Ca+2		0.006	0.005	0.004	0.004	0.005	0.003	0.005	0.005
Totale		19.942		19.953		19.914		19.946	
Altot		5.462	0.056	5.444	0.057	5.451	0.038	5.456	0.057
AlVI+2Ti+Cr		2.806	0.042	2.786	0.037	2.855	0.027	2.799	0.041
Fe/Fe+Mg		0.575	0.006	0.576	0.007	0.568	0.007	0.575	0.006

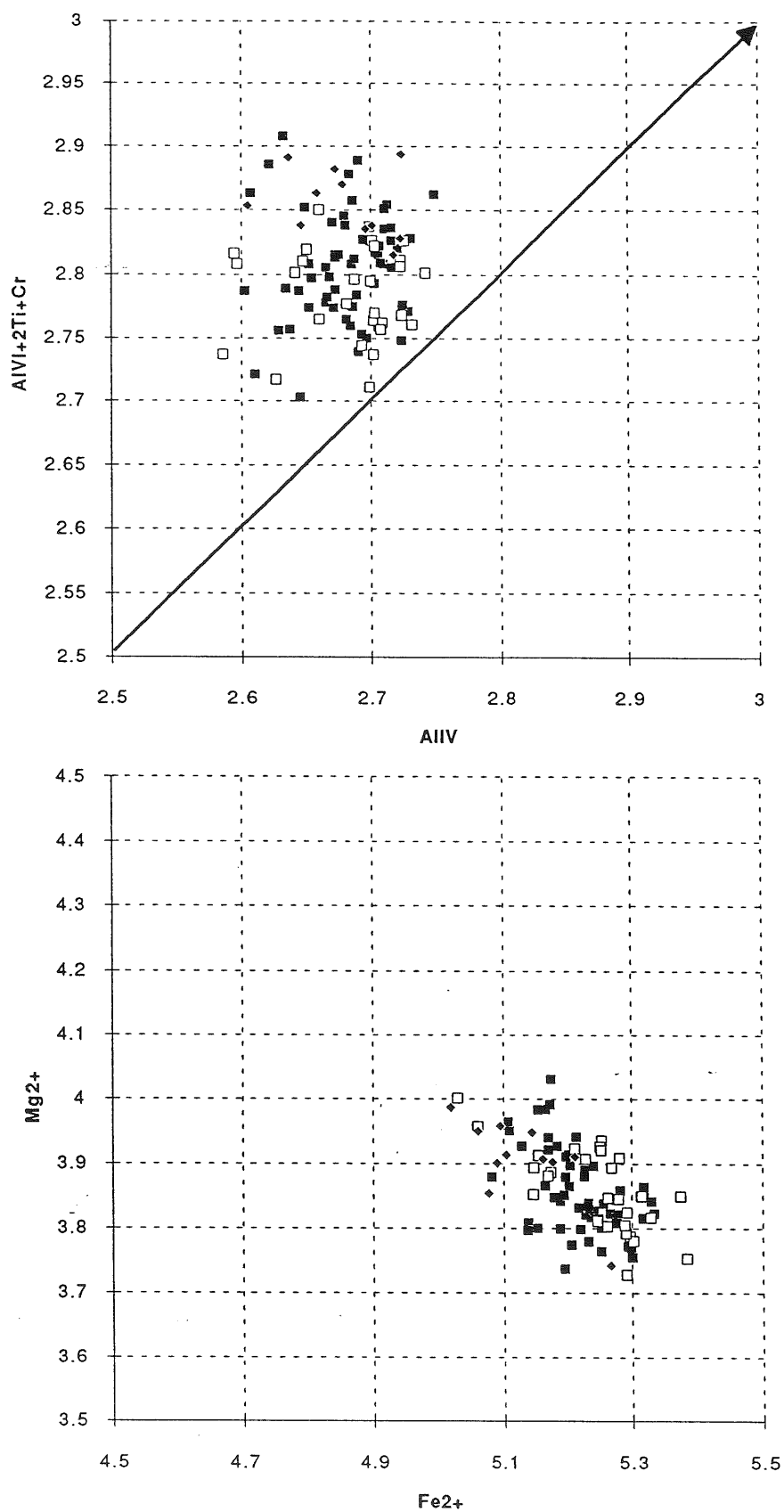


FIG. 9.3a,b. Le cloriti delle metapeliti del Comelico (98 analisi): differenze compositive tra lamelle di clorite in microsystemi diversi: Chl-Ms (59 quadrati pieni), Chl-Ms-Qtz (28 quadrati vuoti), Chl-Ilm (11 rombi pieni).

3: "Chl-Ilm" (11 analisi): si tratta di 2 lamelle di clorite cristallizzata a contatto con ilmenite.

La condizione Chl-Ilm non è molto diffusa in quanto, contrariamente ad altre filladi di cui si parlerà in seguito, nelle metapeliti del Comelico raramente l'ilmenite crea ombre di pressione dove la clorite possa cristallizzare.

E) La TAB. 9.1 riassume le caratteristiche chimiche di queste cloriti, fornendo la media e la deviazione standard relative calcolate separatamente per ciascun sito microstrutturale. Il numero tra parentesi indica il numero di analisi. I diagrammi di FIG. 9.3a,b visualizzano le differenze compositive tra cloriti di siti diversi in termini di sostituzioni chimiche.

La clorite a contatto con muscovite (quadrati pieni) non sembra differire significativamente da quella a contatto con muscovite + quarzo (quadrati vuoti): i rispettivi punti rappresentativi sono dispersi sostanzialmente nella stessa area. Invece i punti rappresentativi della clorite a contatto con ilmenite (rombi pieni), pur rientrando nella stessa area di dispersione di quelli delle altre cloriti, sono decentrati nella parte di più spinta sostituzione AM (cioè di maggior contenuto di $Al^{VI}+2Ti+Cr$) e nella parte a minor contenuto di Fe^{2+} . La Chl-Ilm si distingue, inoltre, per un contenuto di Ti^{4+} mediamente quattro volte superiore rispetto a Chl-Ms e Chl-Ms-Qtz. Per queste peculiarità compositive, le analisi delle cloriti a contatto con ilmenite delle metapeliti del Comelico non sono state utilizzate nel calcolo delle medie globali.

F) Le cloriti a contatto con muscovite e quelle a contatto con muscovite + quarzo possono essere considerate, per le metapeliti del Comelico, rappresentative del chimismo delle cloriti sincinematiche che individuano la scistosità prevalente e che sono cristallizzate sotto temperature corrispondenti alla zona della clorite della facies degli scisti verdi. Le medie e le deviazioni standard di questa popolazione globale, sono riportate nella quarta colonna di TAB. 9.1.

La dispersione dei punti attorno al valore medio è alquanto limitata se si considera il fatto che le 87 analisi si riferiscono a 12 lamelle di clorite appartenenti a quattro diversi campioni, e che il grado metamorfico è basso.

LE CLORITI DELLE METAPELITI DI RECOARO (n=243)

A) Nell'ambito dello studio delle cloriti delle metapeliti di Recoaro, sono state realizzati complessivamente 243 punti analisi su 26 lamelle scelte tra i campioni 14, 16, 21, 27, 30.

B) Nei diagrammi di FIG. 9.4a,b è possibile osservare una distribuzione bimodale dei

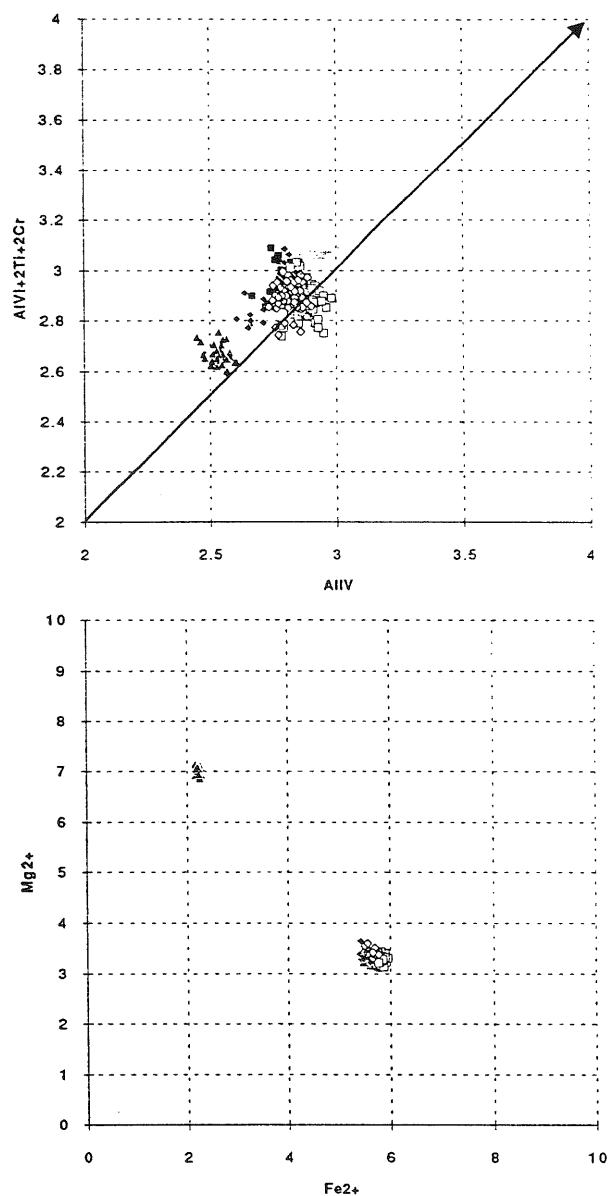


FIG. 9.4a,b. Le cloriti delle metapeliti di Recoaro (243 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto delle cloriti di metapeliti. Campioni: 14 (36 quadrati pieni); 16 (82 quadrati vuoti); 27 (25 rombi pieni); 30 (59 rombi vuoti); 21 (41 triangoli pieni).

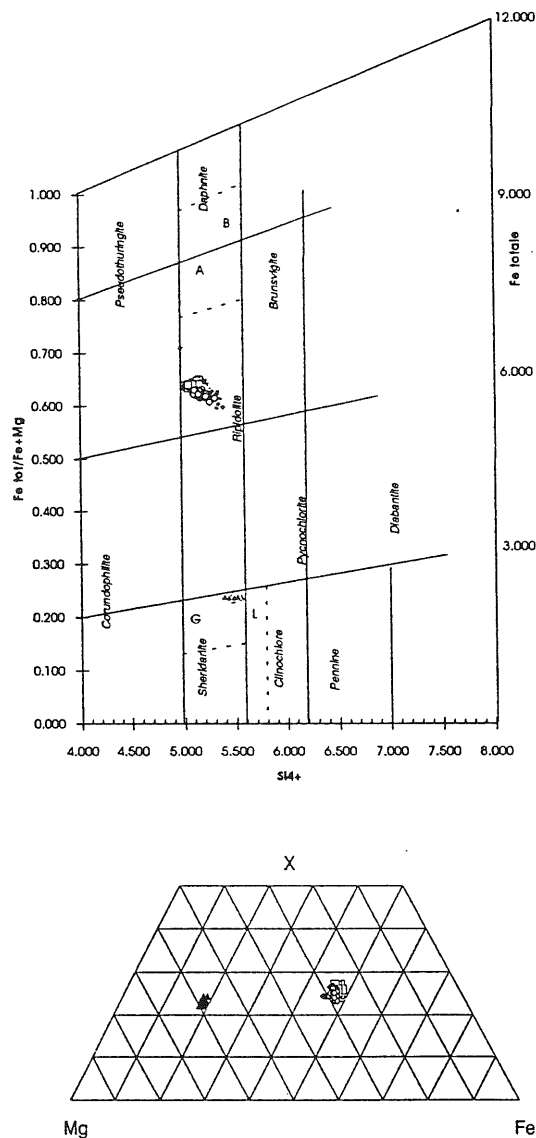


FIG. 9.5a,b. Le cloriti delle metapeliti di Recoaro (243 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996). Simboli come in FIG. 9.4.

TABELLA 9.2. Le cloriti delle metapeliti di Recoaro: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione 14.

SITO	->	1: Chl stat.-Ms		2: Chl-Pl	
		media (28)	dev.st.	media (8)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01	0.00	0.01
K ₂ O		0.02	0.01	0.02	0.01
MgO		9.89	0.23	10.06	0.18
FeO		30.85	0.43	30.89	0.31
Al ₂ O ₃		22.37	0.20	21.98	0.42
CaO		0.01	0.01	0.01	0.01
SiO ₂		23.64	0.25	23.89	0.18
MnO		0.21	0.04	0.20	0.04
TiO ₂		0.07	0.02	0.07	0.01
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02	0.01	0.01
Totale		87.09	0.66	87.12	0.54
Si+4		5.183	0.034	5.235	0.051
AlIV		2.817	0.034	2.765	0.051
totIV		8.000		8.000	
AlVI		2.962	0.052	2.913	0.039
Cr+3		0.004	0.004	0.001	0.002
Fe+2		5.657	0.079	5.661	0.032
Mn+2		0.039	0.007	0.036	0.007
Mg+2		3.233	0.066	3.288	0.070
Ti+4		0.012	0.004	0.011	0.002
totVI		11.907		11.910	
K+1		0.006	0.004	0.006	0.003
Na+1		0.004	0.005	0.002	0.004
Ca+2		0.002	0.003	0.001	0.002
Totale		19.919		19.919	
Altot		5.780	0.036	5.678	0.086
AlVI+2Ti+Cr		2.990	0.049	2.935	0.041
Fe/Fe+Mg		0.636	0.006	0.633	0.006

punti rappresentativi del chimismo di queste cloriti. I campioni 14, 16, 27, 31 (quadrati e rombi) dimostrano tra loro una certa similitudine compositiva sia per quanto riguarda l'entità della sostituzione tschermakitica (distanza dei punti dall'origine della retta che rappresenta la composizione dell'"end-member" clinocloro-chamosite) sia per quanto riguarda il contenuto di Fe e Mg. La clorite del campione 21 (triangoli pieni), che dal punto di vista petrografico si distingue per l'assenza di plagioclasio postcinematico, mostra una netta differenza dovuta ad una sostituzione TK meno spinta, accompagnata da un contenuto notevolmente più alto di Mg (sostituzione MgFe-1).

C) I campioni 14, 16, 27, 30 sono classificabili come:

- i) chamositi magnesifere secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) ripidoliti (FIG. 9.5a) secondo il diagramma classificativo di HEY (1954);
- iii) Fe-cloriti (FIG. 9.5b) tri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) con formula schematica media $X_{26}Mg_{27}Fe_{47}$ (14), $X_{26}Mg_{27}Fe_{47}$ (16), $X_{24}Mg_{29}Fe_{47}$ (27), $X_{24}Mg_{29}Fe_{47}$ (30).

Il campione 21, invece, è classificabile come:

- i) clinocloro ferriero secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) Sheridanite secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 9.5a);
- iii) Mg-cloriti tri-triottaedrica secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) con formula schematica media $X_{22}Mg_{59}Fe_{19}$ (FIG. 9.5b)

D₁, E₁) Date le peculiarità petrografiche di questi cinque campioni (vedasi relativo paragrafo), si è preferito studiare separatamente per ciascuno di essi le variazioni compositive delle cloriti cristallizzate in diversi siti microstrutturali, cioè in diversi microsistemi chimici.

Nel **campione 14** sono stati realizzati 36 punti analisi su 4 lamelle di clorite. La clorite analizzata risulta cristallizzata in due diversi siti microstrutturali:

- 1: "Chl_{stat.}-Ms"(28 analisi): si tratta di tre lamelle di clorite trasversali rispetto alla S_2 , situate all'interno dei letti lepidoblastici a contatto con muscovite;
- 2: "Chl-Pl"(8 analisi): si tratta di una lamella di clorite parallela a S_2 , a contatto con il bordo oligoclasico di un porfiroblasto di albite.

Le medie e deviazioni standard relative alle analisi effettuate nelle tre lamelle del sito 1 e dell'unica lamella del sito 2 vengono presentati in TAB. 9.2. I diagrammi di FIG. 9.6a,b rappresentano invece visivamente i singoli punti rappresentativi della composizione della clorite nei diversi siti. I punti rappresentativi della clorite a contatto con il plagioclasio (quadrati vuoti) si allineano parallelamente alla freccia (quindi a valore

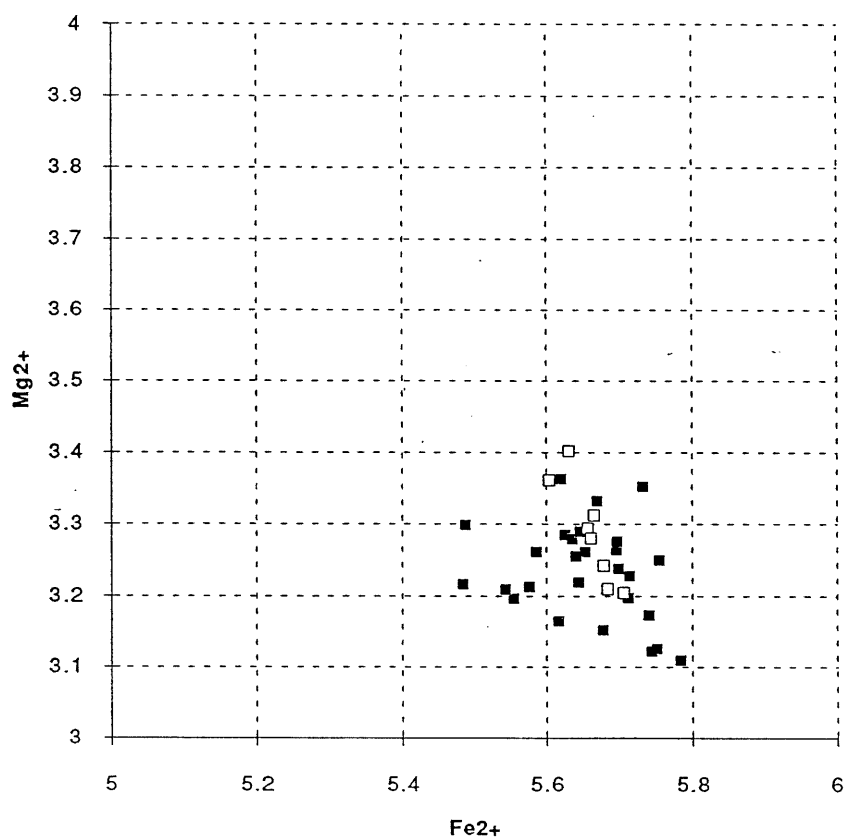
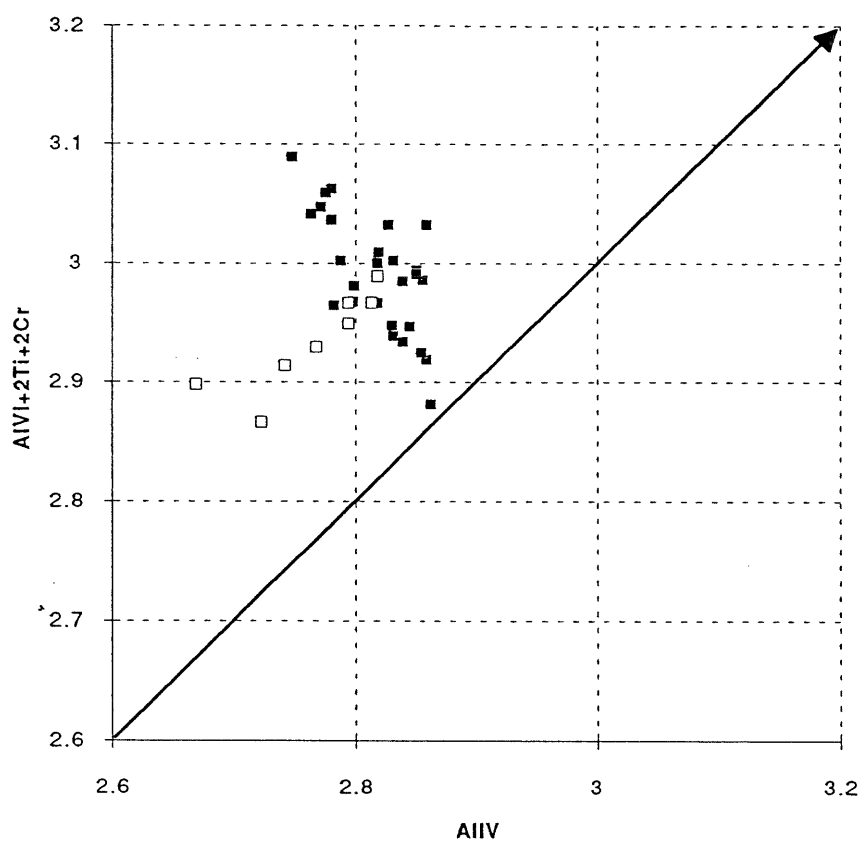


FIG. 9.6a,b. Le cloriti delle metapeliti di Recoaro: nel campione 14, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl stat.-Ms (28 quadrati pieni), Chl-Pl (8 quadrati vuoti).

grosso modo costante di AM), e la loro variabilità compositiva riguarda prevalentemente i vari contenuti di Al^{IV} cioè le varie entità della sostituzione TK. Nella clorite statica a contatto con muscovite (quadrati pieni) la variabilità compositiva riguarda invece sia il contenuto di $Al^{VI}+2Ti+Cr$ (e quindi l'entità della sostituzione AM) che la somma ed il rapporto tra Fe e Mg.

D₂ E₂) Nel campione 16 sono stati realizzati 82 punti analisi su 8 lamelle di clorite. Le lamelle sono state selezionate al fine di rappresentare i seguenti siti microstrutturali:

- 1: "Chl_{stat.}-Qtz"(6 analisi): si tratta di una lamella di clorite statica sita in letti quarzosi;
- 2: "Chl-Ilm"(30 analisi): si tratta di 2 lamelle di clorite statica sita in ombre di pressione accanto ad ilmenite;
- 3: "Chl_{stat.}-Ms"(10 analisi): si tratta di una lamella di clorite statica sita in un letto lepidoblastico a contatto con muscovite;
- 4: "Chl_{sinc.}-Ms"(29 analisi): si tratta di tre lamelle di clorite parallele a S_2 e situate in letti lepidoblastici a contatto con muscovite;
- 5: "Chl- Pl"(7 analisi): si tratta di una lamella di clorite parallela a S_2 a contatto con il bordo oligoclasico di un porfiroblasto di albite.

I parametri statistici relativi ai contenuti chimici delle cloriti di questi cinque siti sono riportati in TAB. 9.3 mentre nei diagrammi di FIG. 9.7a,b, rappresentativi delle tre sostituzioni TK, AM, FM, vengono visualizzate tutte le analisi. La sostituzione TK sembra grosso modo di entità confrontabile in tutte le cloriti. Invece la sostituzione AM è di varia entità, e grosso modo cresce dalle cloriti statiche a contatto con quarzo (quadrato pieno) o con muscovite (rombi pieni) o con plagioclasio (triangoli pieni) a quelle statiche a contatto con ilmenite (quadrati vuoti), come evidenziato dalla distanza dalla freccia in generale minore per le prime rispetto alle seconde. Le cloriti sincinematiche (rombi vuoti) invece cadono in massima parte nell'area di saturazione sottostante la freccia. Ciò indica che un altro ione trivalente, diverso dall' Al^{VI} , è entrato in posizione ottaedrica nel reticolo cristallino della clorite. Verosimilmente si tratta di Fe^{3+} , come suggerito anche dal diagramma in FIG. 9.7b) nel quale, da un confronto tra cloriti sincinematiche (rombi vuoti) e cloriti statiche (tutti gli altri simboli), è evidente che l'intervallo di variazione del Mg è sostanzialmente lo stesso, ma le cloriti sincinematiche risultano più ricche in ferro (si ricorda che il Fe^{2+} riportato in ascissa rappresenta in realtà il ferro totale). E' possibile quindi affermare, in base ai contenuti di $Al^{VI}+2Ti+Cr$ e quelli di Fe^{2+} , che le cloriti del sito 2 (quadrati vuoti) si differenziano totalmente da quelle del sito 4 (rombi vuoti) mentre le cloriti dei siti 1+3+5 (simboli vari

TABELLA 9.3. Le cloriti delle metapeliti di Recoaro: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsystemi nel campione 16.

SITO	->	1: Chl stat.-Qtz	2: Chl-Ilm	3: Chl stat.-Ms	4: Chl-Ms	5: Chl-Pl	dati globali 1+3	
		media (6)	dev.st. media (30)	dev.st. media (10)	dev.st. media (29)	dev.st. media (7)	media (16)	dev.st.
Na2O		0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
K2O		0.00	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02
MgO		10.12	10.03	9.96	10.03	10.04	10.02	0.21
FeO		31.73	31.41	31.55	31.44	31.44	31.62	0.34
Al2O3		22.33	22.31	22.19	21.89	21.89	22.24	0.33
CaO		0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
SiO2		23.87	23.59	23.54	23.06	23.29	23.66	0.32
MnO		0.25	0.21	0.21	0.21	0.21	0.23	0.04
TiO2		0.07	0.21	0.05	0.07	0.08	0.06	0.02
Cr2O3		0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
Totale		88.42	87.82	87.56	86.78	86.99	87.88	0.88
Si+4		5.172	5.143	5.155	5.109	5.140	5.162	0.034
AlIV		2.828	2.857	2.845	2.891	2.860	2.838	0.034
totIV		8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	0.049
AlVI		2.876	2.878	2.883	2.822	2.835	2.880	0.003
Cr+3		0.001	0.006	0.003	0.004	0.001	0.002	0.054
Fe+2		5.752	5.728	5.778	5.824	5.804	5.768	0.008
Mn+2		0.047	0.039	0.039	0.039	0.040	0.042	0.060
Mg+2		3.270	3.259	3.251	3.311	3.302	3.258	0.004
Ti+4		0.012	0.034	0.009	0.012	0.013	0.010	0.004
totVI		11.958	11.945	11.962	12.012	11.994	11.960	0.004
K+1		0.001	0.003	0.007	0.010	0.004	0.004	0.009
Na+1		0.007	0.005	0.007	0.004	0.002	0.007	0.002
Ca+2		0.001	0.004	0.002	0.003	0.002	0.002	0.058
Totale		19.967	19.956	19.977	20.028	20.003	19.974	0.046
Altot		5.703	5.734	5.728	5.713	5.695	5.718	0.005
AlVI+2Ti+Cr		2.901	2.952	2.903	2.849	2.861	2.902	0.046
Fe/Fe+Mg		0.638	0.637	0.640	0.638	0.637	0.639	0.005

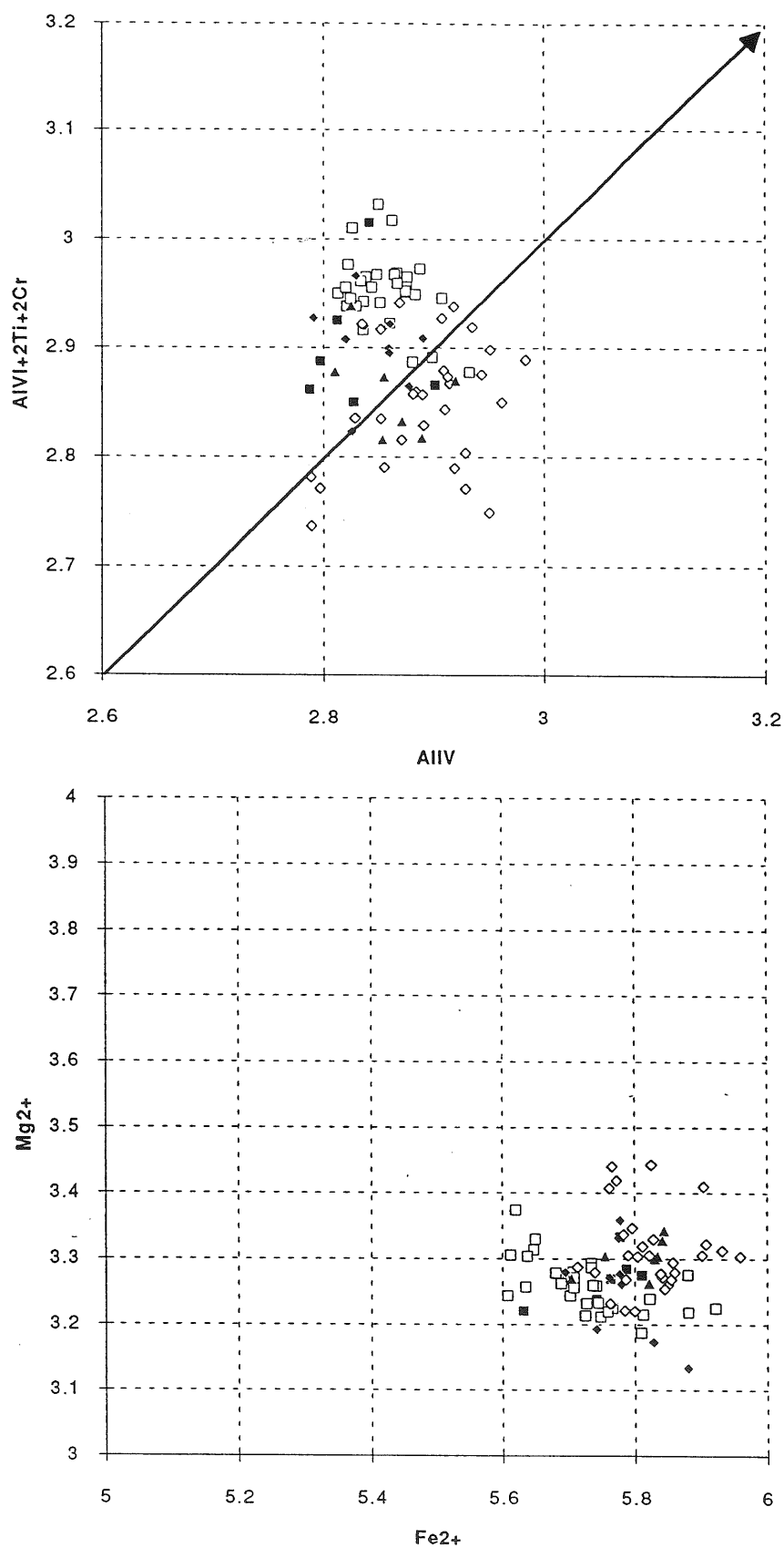


FIG. 9.7a,b. Le cloriti delle metapeliti di Recoaro: nel campione 16, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl stat.-Qtz (6 quadrati pieni), Chl-Ilm (30 quadrati vuoti), Chl stat.-Ms (10 rombi pieni), Chl sinc.-Ms (29 rombi vuoti), Chl-Pl (7 triangoli pieni).

pieni) sono compositivamente intermedie. La clorite del sito 2 si distingue inoltre per un maggiore contenuto in titanio.

D₃, E₃ Nel campione 27 si sono ottenute complessivamente 25 analisi su 4 lamelle di clorite. Le condizioni di lucidatura non ottimali (nè migliorabili) della sezione sottile relativa a questo campione non hanno permesso l'acquisizione di molti dati. Per ciascun sito microstrutturale, pertanto, è stata analizzata una sola lamella. I siti considerati sono:

1: "Chl_{sinc.}-Qtz"(6 analisi): si tratta di una lamella di clorite sincinematica parallela a S₂ sita nel letto granoblastico;

2: "Chl_{stat.}-Pl"(6 analisi): si tratta di una lamella di clorite parallela a S₂, a contatto con il bordo oligoclasico di un porfiroblasto albitico;

3: "Chl_{sinc.}-Ms"(7 analisi): si tratta di una lamella di clorite sincinematica parallela a S₂, sita in letto lepidoblastico, a contatto con muscovite;

4: "Chl_{stat.}-Ms"(6 analisi): si tratta di una lamella di clorite statica con orientazione trasversale rispetto alla S₂, sita in letto lepidoblastico a contatto con muscovite.

La TAB. 9.4 fornisce i parametri statistici relativi ai quattro siti qui considerati, mentre le singole analisi sono proiettate nei diagrammi in FIG. 9.8 a,b. La clorite cristallizzata sincinematicamente (siti 1 e 3 simboli pieni) presenta una sostituzione tschermakitica inferiore rispetto alla clorite cristallizzata durante la fase statica (siti 2 e 4 simboli vuoti). Nell'ambito delle cloriti statiche, inoltre, la clorite a contatto con muscovite (rombi vuoti) si differenzia sia da quella statica a contatto con plagioclasio (quadrati vuoti) in quanto risulta più ricca di Al^{VI}+2Ti+Cr (sostituzione AM più spinta) (FIG. 9.8a) e conseguentemente più povera in Fe+Mg (FIG. 9.8b).

D₄, E₄ Nel campione 30 sono state effettuate complessivamente 59 analisi su 6 lamelle di clorite. I microsistemi e siti microstrutturali considerati sono così descrivibili:

1: "Chl_{stat.}-Ms"(31 analisi): si tratta di tre lamelle di clorite statica a contatto con muscovite in letti lepidoblastici.

2: "Chl_{sinc.}-Ms"(10 analisi): si tratta di una lamella di clorite sincinematica a contatto con muscovite in letti lepidoblastici.

3: "Chl-Ilm"(18 analisi): si tratta di due lamelle di clorite statiche in ombre di pressione a contatto con ilmenite.

La TAB. 9.5 riporta le medie, le deviazioni standard e, tra parentesi, il numero di analisi riferibili a ciascun sito microstrutturale. Come è possibile osservare nei diagrammi di FIG. 9.9a,b e dalla TAB. 9.5, i punti rappresentativi della clorite sincinematica del sito 2 (quadrati vuoti) pur evidenziando una sostituzione TK prevalentemente minore

TABELLA 9.4. Le cloriti delle metapeliti di Recoaro: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione 27.

SITO	->	1: Chl sinc.-Qtz		2: Chl stat.-Pl		3: Chl sinc.-Ms		4: Chl stat.-Ms	
		media (6)	dev.st.	media (6)	dev.st.	media (7)	dev.st.	media (6)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
K ₂ O		0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.00
MgO		10.52	0.17	10.30	0.17	10.96	0.34	10.19	0.15
FeO		30.79	0.58	30.85	0.21	30.35	0.46	29.98	0.43
Al ₂ O ₃		21.65	0.27	22.34	0.24	21.47	0.48	22.57	0.31
CaO		0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
SiO ₂		24.28	0.34	23.72	0.15	24.43	0.35	23.62	0.32
MnO		0.27	0.02	0.25	0.04	0.29	0.02	0.30	0.03
TiO ₂		0.08	0.03	0.06	0.02	0.07	0.01	0.08	0.01
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
Totale		87.64	0.57	87.61	0.34	87.63	0.37	86.80	0.80
Si+4		5.273	0.056	5.171	0.026	5.312	0.071	5.171	0.027
Al ^{IV}		2.727	0.056	2.829	0.026	2.688	0.071	2.829	0.027
tot ^{IV}		8.000		8.000		8.000		8.000	
Al ^{VI}		2.859	0.066	2.903	0.034	2.793	0.045	2.993	0.047
Cr+3		0.002	0.003	0.009	0.005	0.003	0.002	0.002	0.002
Fe+2		5.606	0.097	5.603	0.054	5.512	0.078	5.490	0.077
Mn+2		0.051	0.004	0.049	0.009	0.053	0.003	0.057	0.006
Mg+2		3.382	0.086	3.368	0.077	3.554	0.100	3.339	0.051
Ti+4		0.012	0.004	0.009	0.004	0.012	0.001	0.013	0.002
tot ^{VI}		11.912		11.942		11.926		11.896	
K+1		0.001	0.003	0.002	0.001	0.009	0.006	0.006	0.002
Na+1		0.007	0.011	0.004	0.005	0.003	0.006	0.005	0.008
Ca+2		0.005	0.003	0.005	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003
Totale		19.925		19.952		19.941		19.909	
Altot		5.586	0.103	5.733	0.041	5.481	0.113	5.823	0.027
Al ^{VI} +2Ti+Cr		2.885	0.066	2.930	0.034	2.819	0.045	3.021	0.046
Fe/Fe+Mg		0.624	0.009	0.625	0.007	0.608	0.010	0.622	0.005

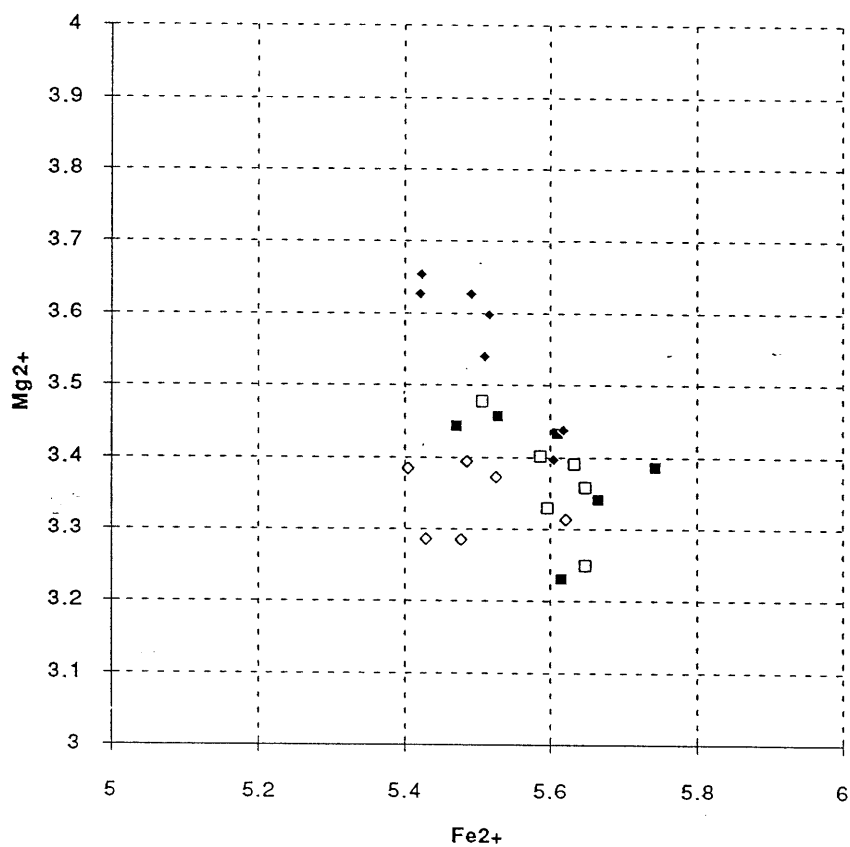
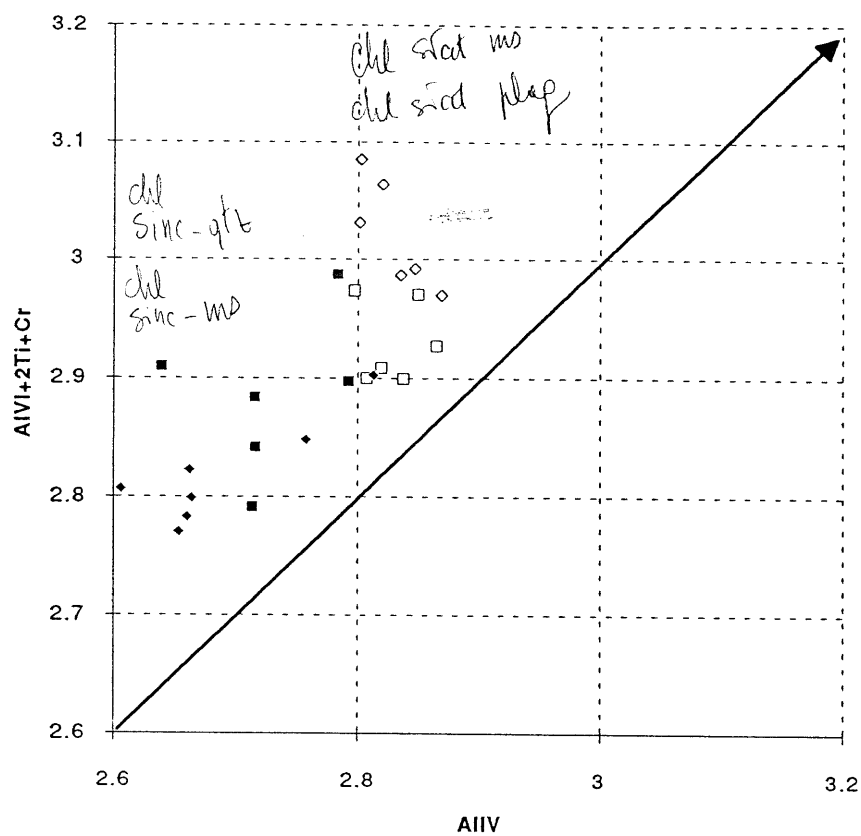


FIG. 9.8a,b. Le cloriti delle metapeliti di Recoaro: nel campione 27, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl sinc.-Qtz (6 quadrati pieni), Chl stat.-Pl (6 quadrati vuoti), Chl sinc.-Ms (7 rombi pieni), Chl stat.-Ms (6 rombi vuoti).

TABELLA 9.5. Le cloriti delle metapeliti di Recoaro: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione 30.

SITO	->	1:Chl stat.-Ms		2: Chl sinc.-Ms		3: Chl-Ilm		dati globali 1+3	
		media (31)	dev.st.	media (10)	dev.st.	media (18)	dev.st.	media (49)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
K ₂ O		0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
MgO		10.32	0.18	10.48	0.19	10.47	0.11	10.37	0.17
FeO		30.63	0.23	30.82	0.57	30.94	0.30	30.75	0.30
Al ₂ O ₃		22.01	0.42	21.77	0.43	22.13	0.21	22.06	0.36
CaO		0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
SiO ₂		23.46	0.39	23.70	0.37	23.81	0.18	23.59	0.36
MnO		0.30	0.03	0.28	0.03	0.31	0.03	0.30	0.03
TiO ₂		0.06	0.01	0.07	0.02	0.20	0.10	0.11	0.09
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Totale		86.85	0.85	87.20	0.80	87.91	0.51	87.24	0.90
Si+4		5.163	0.043	5.196	0.044	5.175	0.030	5.167	0.039
AlIV		2.837	0.043	2.804	0.044	2.825	0.030	2.833	0.039
totIV		8.000		8.000		8.000		8.000	
AlVI		2.872	0.056	2.823	0.073	2.843	0.025	2.861	0.049
Cr+3		0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003
Fe+2		5.638	0.062	5.652	0.120	5.624	0.038	5.633	0.055
Mn+2		0.056	0.005	0.053	0.007	0.056	0.006	0.056	0.006
Mg+2		3.385	0.055	3.426	0.055	3.392	0.030	3.388	0.048
Ti+4		0.010	0.002	0.012	0.003	0.032	0.017	0.018	0.015
totVI		11.964		11.968		11.949		11.958	
K+1		0.006	0.005	0.007	0.004	0.003	0.003	0.005	0.005
Na+1		0.004	0.005	0.005	0.007	0.005	0.005	0.004	0.005
Ca+2		0.003	0.003	0.004	0.003	0.005	0.003	0.004	0.003
Totale		19.977		19.983		19.962		19.971	
Altot		5.709	0.066	5.626	0.074	5.669	0.037	5.694	0.060
AlVI+2Ti+Cr		2.894	0.055	2.849	0.071	2.910	0.032	2.900	0.048
Fe/Fe+Mg		0.625	0.004	0.623	0.007	0.624	0.003	0.624	0.004

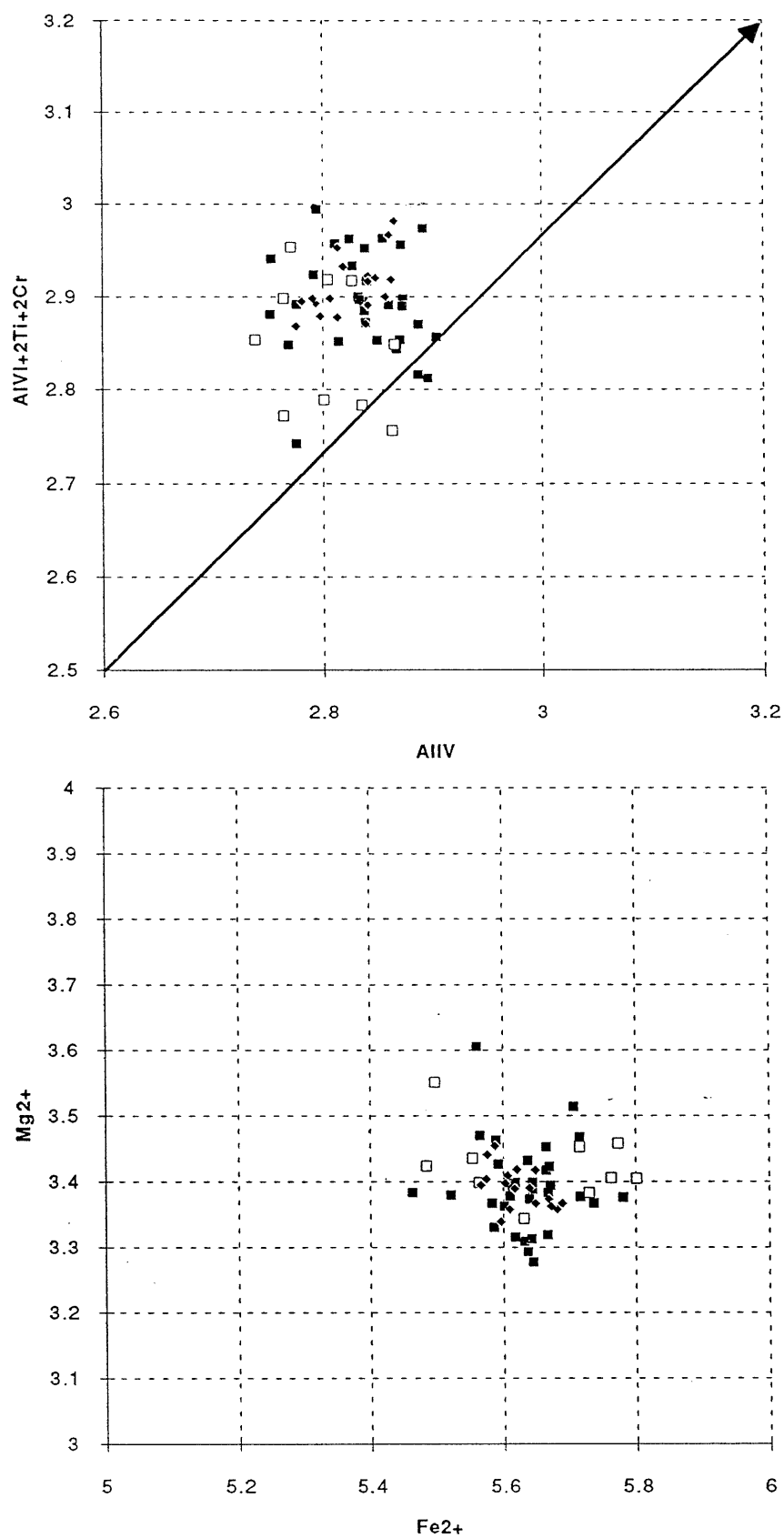


FIG. 9.9 a,b. Le cloriti delle metapeliti di Recoaro: nel campione 30, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl stat.-Ms (31 quadrati pieni), Chl sinc.-Ms (10 quadrati vuoti), Chl-Ilm (18 rombi pieni).

TABELLA 9.6. Le cloriti delle metapeliti di Recoaro: statistiche dei contenuti chimici delle cloriti del campione 21.

SITO	->	Chl-Ms	
		media (41)	dev.st.
Na ₂ O		0.00	0.01
K ₂ O		0.01	0.01
MgO		23.73	0.24
FeO		13.37	0.18
Al ₂ O ₃		22.12	0.19
CaO		0.01	0.01
SiO ₂		27.45	0.26
MnO		0.09	0.02
TiO ₂		0.04	0.02
Cr ₂ O ₃		0.01	0.01
Totale		86.84	0.45
Si+4		5.461	0.035
Al ^{IV}		2.539	0.035
tot ^{IV}		8.000	
Al ^{VI}		2.647	0.036
Cr+3		0.002	0.002
Fe+2		2.225	0.029
Mn+2		0.015	0.004
Mg+2		7.038	0.065
Ti+4		0.007	0.002
tot ^{VI}		11.933	
K+1		0.004	0.003
Na+1		0.002	0.003
Ca+2		0.003	0.003
Totale		19.941	
Altot		5.186	0.041
Al ^{VI} +2Ti+Cr		2.662	0.036
Fe/Fe+Mg		0.240	0.003

TABELLA 9.6 bis. Statistiche dei contenuti chimici di tutte le cloriti statiche delle metapeliti di Recoaro.

SITO	->	globale statiche	
		media(150)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01
K ₂ O		0.02	0.01
MgO		10.14	0.26
FeO		31.00	0.53
Al ₂ O ₃		22.20	0.33
CaO		0.01	0.01
SiO ₂		23.61	0.30
MnO		0.25	0.06
TiO ₂		0.11	0.10
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02
Totale		87.37	0.78
Si+4		5.167	0.040
Al ^{IV}		2.833	0.040
tot ^{IV}		8.000	
Al ^{VI}		2.894	0.066
Cr+3		0.003	0.004
Fe+2		5.673	0.093
Mn+2		0.046	0.011
Mg+2		3.307	0.083
Ti+4		0.018	0.016
tot ^{VI}		11.942	
K+1		0.005	0.004
Na+1		0.005	0.006
Ca+2		0.003	0.003
Totale		19.954	
Altot		5.727	0.064
Al ^{VI} +2Ti+Cr		2.934	0.060
Fe/Fe+Mg		0.632	0.008

rispetto alla maggior parte delle cloriti statiche (simboli pieni), ne coprono grosso modo la stessa area di distribuzione risultando tuttavia maggiormente dispersi. Analogo discorso si può fare per Fe e Mg. Solo le analisi relative alle cloriti statiche (sito 1 e 3) pertanto vengono mediate nella colonna "dati globali" della TAB.9.5.

D₅, E₅) Il campione 21 può essere trattato complessivamente dato che le 4 lamelle analizzate (per un totale di 41 punti analisi) sono state scelte nell'ambito dello stesso sito microstrutturale: "Chl-Ms": si tratta di clorite sincinemica sita in letti lepidoblastici a contatto con muscovite.

I dati chimici riassuntivi relativi a queste cloriti si trovano in TAB. 9.6. Come già notato all'inizio (FIG. 9.4a,b), queste cloriti rispetto a quelle degli altri quattro campioni appena descritti, sono caratterizzate da un minor grado di sostituzione TK e da una sostituzione MgFe₁ più spinta rispetto agli altri quattro campioni appena descritti. Dobbiamo ricordare che fra i caratteri petrografici di queste rocce va menzionata l'assenza di plagioclasio postcinematico (vedasi relativo paragrafo).

F) Riassumendo, le cloriti analizzate nelle metapeliti di Recoaro sono raggruppabili in due categorie:

- 1) cloriti sincinematiche (che però mancano nel campione 14) parallele alla S₂, di cui alcune situate all'interno di letti lepidoblastici, altre in letti granoblastici;
- 2) cloriti statiche disposte trasversalmente alla S₂ situate o in letti lepidoblastici o in letti granoblastici o a contatto col bordo oligoclasico di porfiroblasti albitici o infine cristallizzate nelle ombre di pressione delle ilmeniti.

Nelle prime, l'entità della sostituzione TK aumenta con il seguente ordine: 21, 27, 30, 16. Ciò evidentemente riflette un effetto della composizione chimica globale del microsistema nel quale la clorite è cristallizzata, trattandosi di clorite in associazioni non limitanti. Tale effetto non si vede, per motivi fortuiti, nelle cloriti statiche, che pur si trovano in analoga situazione di associazione non limitante. Infatti in queste ultime, l'entità della sostituzione TK ed i contenuti di Fe e Mg nei vari campioni sono confrontabili. L'alto valore di TK può essere in relazione con la crescente disponibilità di Al, reso libero per effetto della sostituzione di muscovite da parte di albite. Le medie e deviazioni standard di tali cloriti statiche possono essere considerate rappresentative del chimismo delle cloriti di Recoaro cristallizzate in condizioni termiche corrispondenti al limite tra la zona della clorite e la zona a biotite della facies degli scisti verdi (TAB. 9.6 bis).

9.3.1.2 Gruppi di temperatura intermedia

LE CLORITI DELLE METAPELITI DI PLAN DE CORONES, PUSTERIA (n=194)

A) Nei quattro campioni di roccia rappresentativi delle metapeliti della Pusteria, sono stati realizzati un totale di 194 punti analisi su 19 lamelle selezionate di clorite. Questi campioni di roccia possono essere suddivisi in due sottogruppi: a) sottogruppo a biotite (29a, 29b) e b) sottogruppo a biotite cloritizzata (92a, 52b). Data la similarità compositiva e strutturale dei campioni 29a e 29b, le relative analisi di clorite vengono qui trattate globalmente.

B) Dai diagrammi di FIG. 9.10a,b è possibile avere una idea complessiva dell'area compositiva occupata dalle cloriti di tutti e quattro i campioni. Il diagramma in FIG.9.10a dimostra che l'entità della sostituzione TK è sostanzialmente uguale nelle cloriti di tutti e tre i campioni, anche se la dispersione dei punti rappresentativi lungo la freccia risulta minore per il campione 92a, e che le cloriti del campione 92a hanno in generale i minimi valori della sostituzione AM. In FIG. 9.10b) invece è chiaramente visibile come le cloriti del sottogruppo a biotite (quadrati pieni) presentino maggiori contenuti di Mg rispetto a quelle del sottogruppo a biotite cloritizzata.

C) Le cloriti di tutti e quattro i campioni possono essere classificate come:

- i) chamositi magnesifere secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) Ripidoliti secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 9.10a);
- iii) Fe-cloriti tri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) (FIG. 9.11a,b) con formula schematica $X_{24}Mg_{36}Fe_{40}$ (29a,29b), $X_{23}Mg_{32}Fe_{44}$ (92a), $X_{24}Mg_{31}Fe_{45}$ (52b).

D₁, E₁) I vari campioni sono stati studiati nel dettaglio al fine di valutare le differenze compositive tra cloriti cristallizzate in siti microstrutturali diversi.

Nei campioni 29a e 29b sono stati realizzati complessivamente 95 punti analisi su 10 lamelle. I siti considerati sono:

- 1: "Chl-Ms-Bt"(68 analisi): si tratta di sette lamelle di clorite sincinematiche parallele a S₂ ed a contatto con biotite e muscovite.
- 2: "Chl-Qtz"(10 analisi): si tratta di una lamella di clorite cristallizzata in un letto granoblastico.
- 3: "Chl-Ilm"(16 analisi): si tratta di una lamella di clorite statica sita in ombra di pressione dell'ilmenite.

La TAB. 9.7 riporta i dati chimici riassuntivi delle cloriti appartenenti ai diversi siti. I diagrammi di FIG. 9.12a,b permettono di visualizzare l'insieme delle analisi. Se si

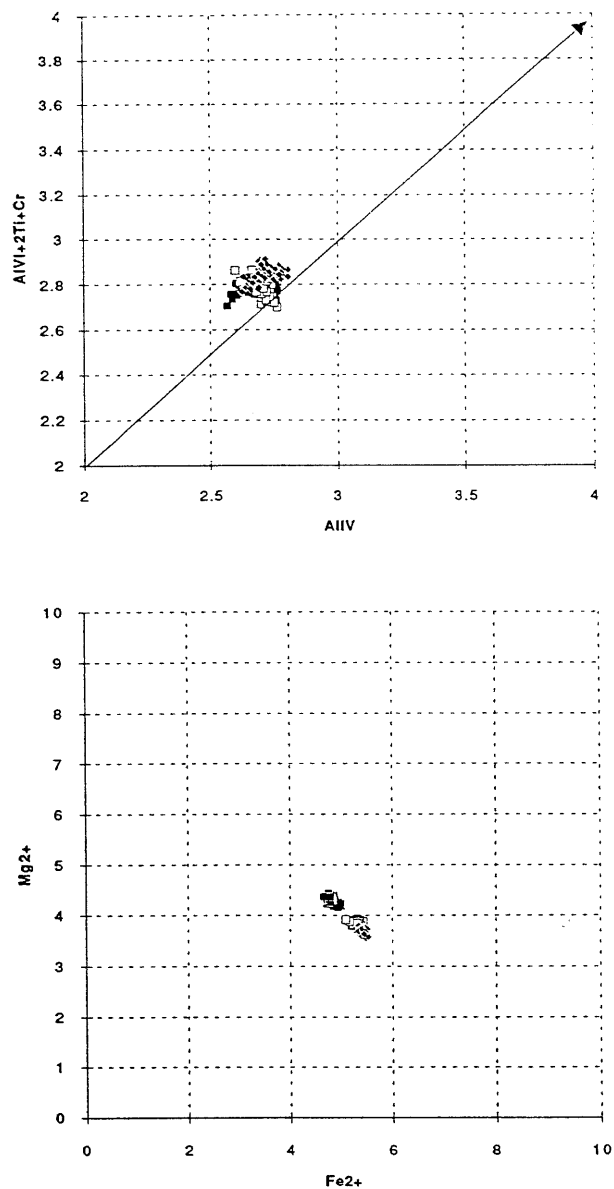


FIG. 9.10a,b. Le cloriti delle metapeliti di Plan de Corones, Pusteria (194 analisi; visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metapeliti. Campioni: 29a e 29b (quadrati pieni), 92a (quadrati vuoti), 52b (rombi pieni).

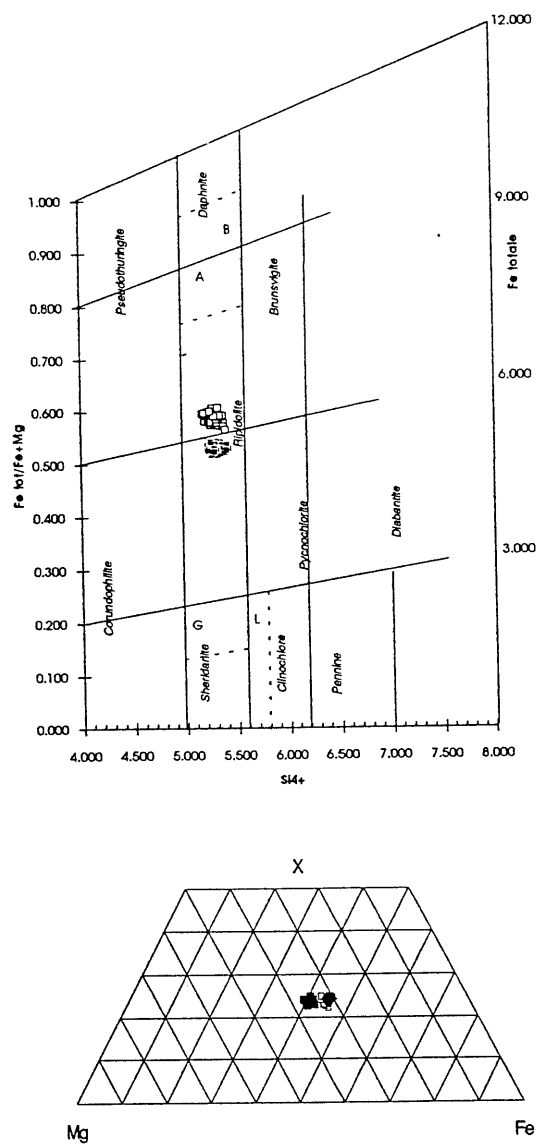


FIG. 9.11a,b. Le cloriti delle metapeliti di Plan de Corones, Pusteria (194 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996). Simboli come in FIG. 9.10.

TABELLA 9.7. Le cloriti delle metapeliti della Pusteria, Plan de Corones: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nei campioni 29a e 29b.

SITO	->	1: Chl-Ms-Bt		2: Chl-Qz		3: Chl-Ilm		dati globali 1+3	
		media(69)	dev.st.	media (10)	dev.st.	media (16)	dev.st.	media (85)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01
K ₂ O		0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02
MgO		13.40	0.25	13.35	0.15	13.17	0.15	13.36	0.25
FeO		26.94	0.46	26.97	0.28	27.20	0.26	26.99	0.44
Al ₂ O ₃		21.74	0.17	21.35	0.35	21.64	0.18	21.72	0.18
CaO		0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
SiO ₂		24.64	0.20	24.98	0.22	24.74	0.21	24.66	0.20
MnO		0.24	0.04	0.27	0.03	0.26	0.03	0.24	0.04
TiO ₂		0.08	0.02	0.07	0.02	0.16	0.08	0.09	0.05
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Totale		87.10	0.47	82.47	19.97	87.21	0.31	87.12	0.45
Si+4		5.283	0.030	5.359	0.049	5.303	0.041	5.287	0.033
AlIV		2.717	0.030	2.641	0.049	2.697	0.041	2.713	0.033
totIV		8.000		8.000		8.000		8.000	
AlVI		2.776	0.032	2.755	0.042	2.771	0.018	2.775	0.030
Cr+3		0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.004
Fe+2		4.831	0.080	4.838	0.043	4.875	0.047	4.839	0.076
Mn+2		0.044	0.007	0.049	0.006	0.048	0.005	0.044	0.007
Mg+2		4.283	0.074	4.268	0.051	4.208	0.045	4.269	0.075
Ti+4		0.012	0.003	0.011	0.003	0.026	0.013	0.015	0.008
totVI		11.949		11.924		11.932		11.946	
K+1		0.006	0.004	0.003	0.004	0.001	0.002	0.005	0.004
Na+1		0.003	0.005	0.005	0.008	0.001	0.002	0.003	0.005
Ca+2		0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004
Totale		19.961		19.935		19.937		19.957	
Altot		5.493	0.040	5.396	0.078	5.468	0.044	5.488	0.041
AlVI+2Ti+Cr		2.804	0.032	2.633	0.639	2.826	0.022	2.808	0.031
Fe/Fe+Mg		0.530	0.008	0.531	0.005	0.537	0.005	0.531	0.008

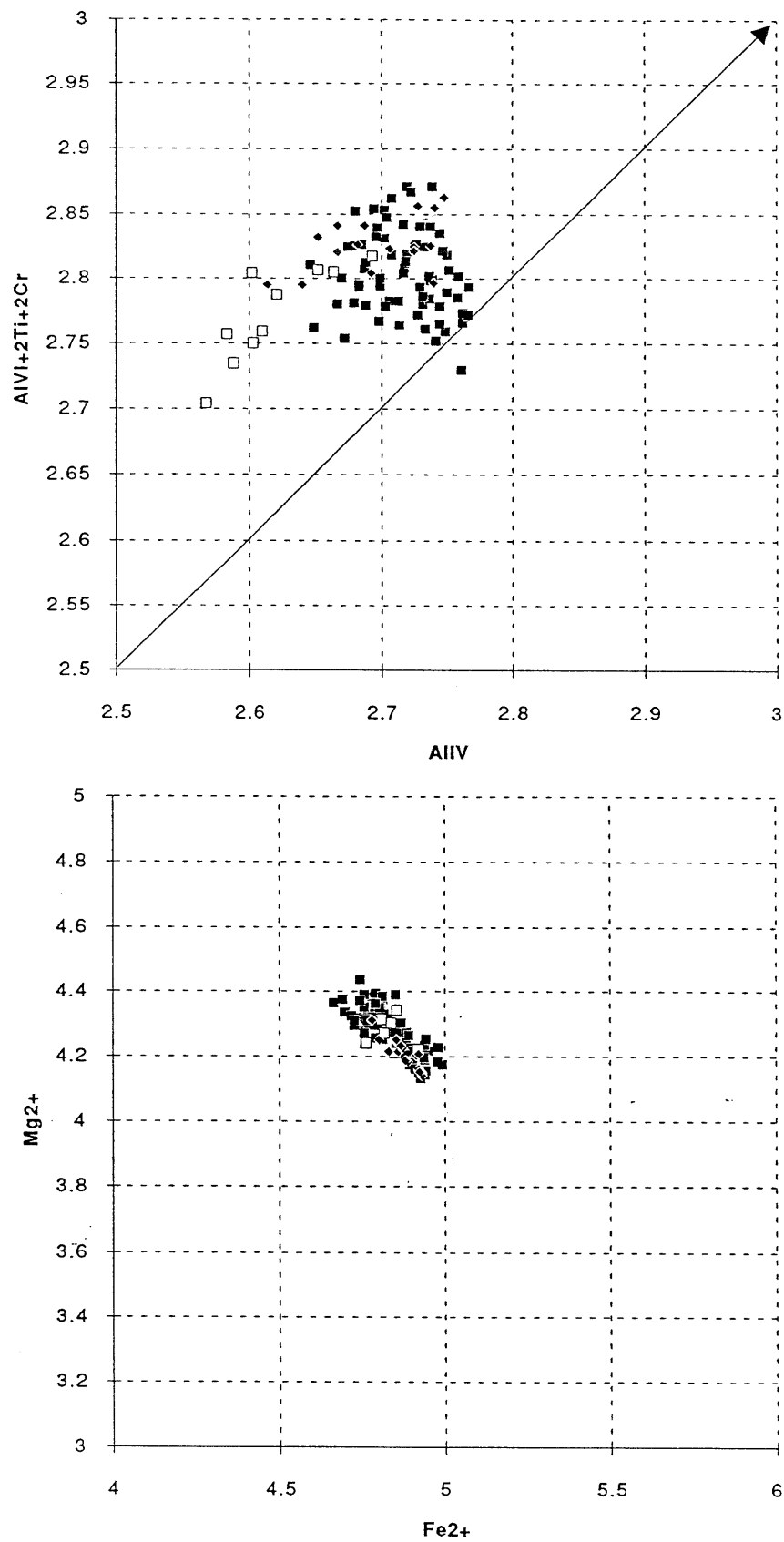


FIG. 9.12a,b. Le cloriti delle metapeliti di Plan de Corones, Pusteria: nei campioni 29a, 29b, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl-Ms-Bt (68 quadrati pieni), Chl-Qtz (10quadrati vuoti), Chl-Ilm (16 rombi pieni).

esclude la clorite del sito 2 (quadrati vuoti), le cloriti a contatto con muscovite+biotite (quadrati pieni) e quelle a contatto con ilmenite (rombi pieni) risultano essere abbastanza simili tra loro per tutti i parametri chimici considerati in FIG. 9.12a,b. Pertanto, per le loro peculiarità compositive, le cloriti a contatto con quarzo nei letti granoblastici (sito 2, quadrati vuoti), non vengono inserite nel calcolo della media globale (colonna "dati globali") della TAB. 9.7. Le cloriti dei siti 1 e 3 (simboli pieni) possono essere considerate rappresentative del chimismo di cloriti di metapeliti della Pusteria cristallizzate a temperature corrispondenti alla zona a biotite della facies degli scisti verdi.

D₂, E₂) Nel campione 92a sono stati effettuati 36 punti analisi su 4 lamelle di clorite. I siti microstrutturali considerati sono:

- 1: "Chl-Ms" (28 analisi): si tratta di tre lamelle di clorite sincinematische lungo S₂ ed a contatto con muscovite;
- 2: "Chl-Qtz" (8 analisi): si tratta di una lamella di clorite cristallizzata in un letto granoblastico a contatto con quarzo.

In TAB. 9.8 vengono riportati medie e deviazioni standard relative alle cloriti di questi siti. Anche in questo caso (FIG. 9.13a,b) le analisi di clorite a contatto con quarzo (quadrati vuoti) si discostano da quelle cristallizzate nei letti lepidoblastici a contatto con muscovite (quadrati pieni): esse hanno una maggiore sostituzione AM e maggiore contenuto in Fe.

D₃, E₃) Nel campione 52b sono state realizzate in totale 63 analisi su 5 lamelle di clorite. I siti microstrutturali presi in considerazione sono:

- 1: "Chl-Ms-Bt_{cl}" (22 analisi): si tratta di due lamelle di clorite sincinematische lungo S₂, a contatto con muscovite e biotite cloritizzata;
- 2: "Chl-Ilm" (29 analisi): si tratta di due lamelle di clorite cristallizzata in ombra di pressione a contatto con ilmenite;
- 3: "Chl_{stat}-Ms" (11 analisi): si tratta di una lamella di clorite statica a contatto con muscovite.

Dal confronto dei dati chimici riassuntivi relativi alle cloriti dei tre diversi siti (TAB. 9.9) e dall'osservazione dei diagrammi di FIG. 9.14a,b, è evidente la diversa distribuzione dei punti rappresentativi per la varia entità della sostituzione TK e per i vari contenuti di Mg. Le cloriti del sito 1 (quadrati pieni) si differenziano inoltre dalle cloriti degli altri due siti per una diversa dispersione dei punti rappresentativi: minore nei valori di Al^{IV} e Mg²⁺, maggiore nei valori di Al^{VI}+2Ti+Cr. Le cloriti a contatto con ilmenite, inoltre si distinguono per un contenuto circa doppio di Ti⁴⁺.

TABELLA 9.8. Le cloriti delle metapeliti della Pusteria,
Plan de Corones: statistiche dei contenuti chimici di cloriti
di vari microsistemi nel campione 92a.

SITO	->	1: Chl-Ms		2: Chl-Qz	
		media (28)	dev.st.	media (8)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01	0.01	0.01
K ₂ O		0.02	0.02	0.02	0.02
MgO		11.94	0.13	11.92	0.14
FeO		29.37	0.32	28.65	0.38
Al ₂ O ₃		21.38	0.14	21.21	0.14
CaO		0.01	0.01	0.02	0.01
SiO ₂		24.41	0.15	24.67	0.21
MnO		0.25	0.04	0.24	0.03
TiO ₂		0.07	0.02	0.07	0.02
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02	0.02	0.02
Totale		87.48	0.33	86.80	0.50
Si+4		5.284	0.026	5.357	0.031
AlIV		2.716	0.026	2.643	0.031
totIV		8.000		8.000	
AlVI		2.737	0.038	2.786	0.032
Cr+3		0.003	0.004	0.003	0.003
Fe+2		5.318	0.055	5.203	0.068
Mn+2		0.047	0.007	0.044	0.006
Mg+2		3.853	0.039	3.860	0.039
Ti+4		0.012	0.003	0.012	0.004
totVI		11.969		11.908	
K+1		0.006	0.006	0.004	0.005
Na+1		0.002	0.003	0.003	0.005
Ca+2		0.002	0.002	0.004	0.003
Totale		19.980		19.919	
Altot		5.453	0.034	5.429	0.032
AlVI+2Ti+Cr		2.765	0.037	2.813	0.034
Fe/Fe+Mg		0.580	0.004	0.574	0.005

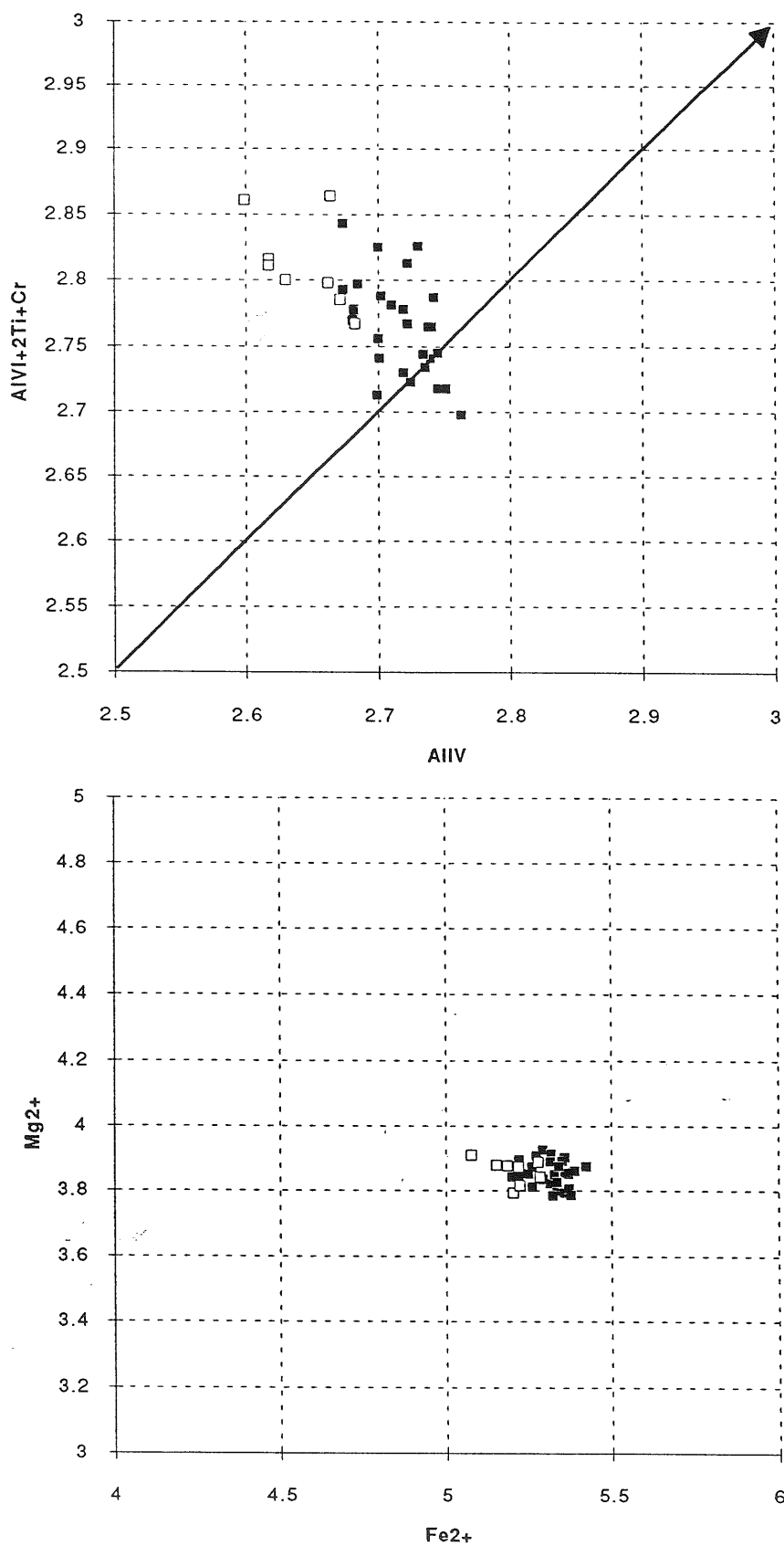


FIG. 9.13a,b. Le cloriti delle metapeliti di Plan de Corones, Pusteria: nel campione 92a, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsystemi diversi: Chl-Ms (28 quadrati pieni), Chl-Qtz (8 quadrati vuoti).

TABELLA 9.9. Le cloriti delle metapeliti della Pusteria, Plan de Corones: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione 52b.

SITO	->	1: Chl-Ms-Bt cl.		2: Chl-Ilm		3: Chl stat.-Ms	
		media (22)	dev.st.	media (30)	dev.st.	media (11)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01
K ₂ O		0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
MgO		11.23	0.16	11.54	0.22	11.42	0.09
FeO		29.55	0.27	29.55	0.29	29.61	0.17
Al ₂ O ₃		21.59	0.22	21.77	0.18	21.16	0.18
CaO		0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03
SiO ₂		24.30	0.13	24.22	0.22	24.53	0.20
MnO		0.18	0.03	0.18	0.03	0.17	0.02
TiO ₂		0.08	0.02	0.14	0.04	0.07	0.01
Cr ₂ O ₃		0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
Totale		87.00	0.44	87.44	0.43	87.02	0.48
Si+4		5.294	0.016	5.247	0.034	5.342	0.023
Al ^{IV}		2.706	0.016	2.753	0.034	2.658	0.023
tot ^{IV}		8.000		8.000		8.000	
Al ^{VI}		2.835	0.037	2.806	0.021	2.774	0.020
Cr+3		0.002	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003
Fe+2		5.382	0.041	5.354	0.067	5.393	0.027
Mn+2		0.034	0.005	0.033	0.006	0.032	0.003
Mg+2		3.645	0.053	3.725	0.055	3.708	0.016
Ti+4		0.013	0.003	0.022	0.007	0.012	0.002
tot ^{VI}		11.911		11.943		11.921	
K+1		0.010	0.006	0.003	0.003	0.007	0.004
Na+1		0.006	0.007	0.003	0.006	0.002	0.003
Ca+2		0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.006
Totale		19.929		19.953		19.933	
Altot		5.541	0.044	5.559	0.037	5.432	0.034
Al ^{VI} +2Ti+Cr		2.863	0.036	2.853	0.021	2.800	0.021
Fe/Fe+Mg		0.596	0.004	0.590	0.006	0.593	0.002

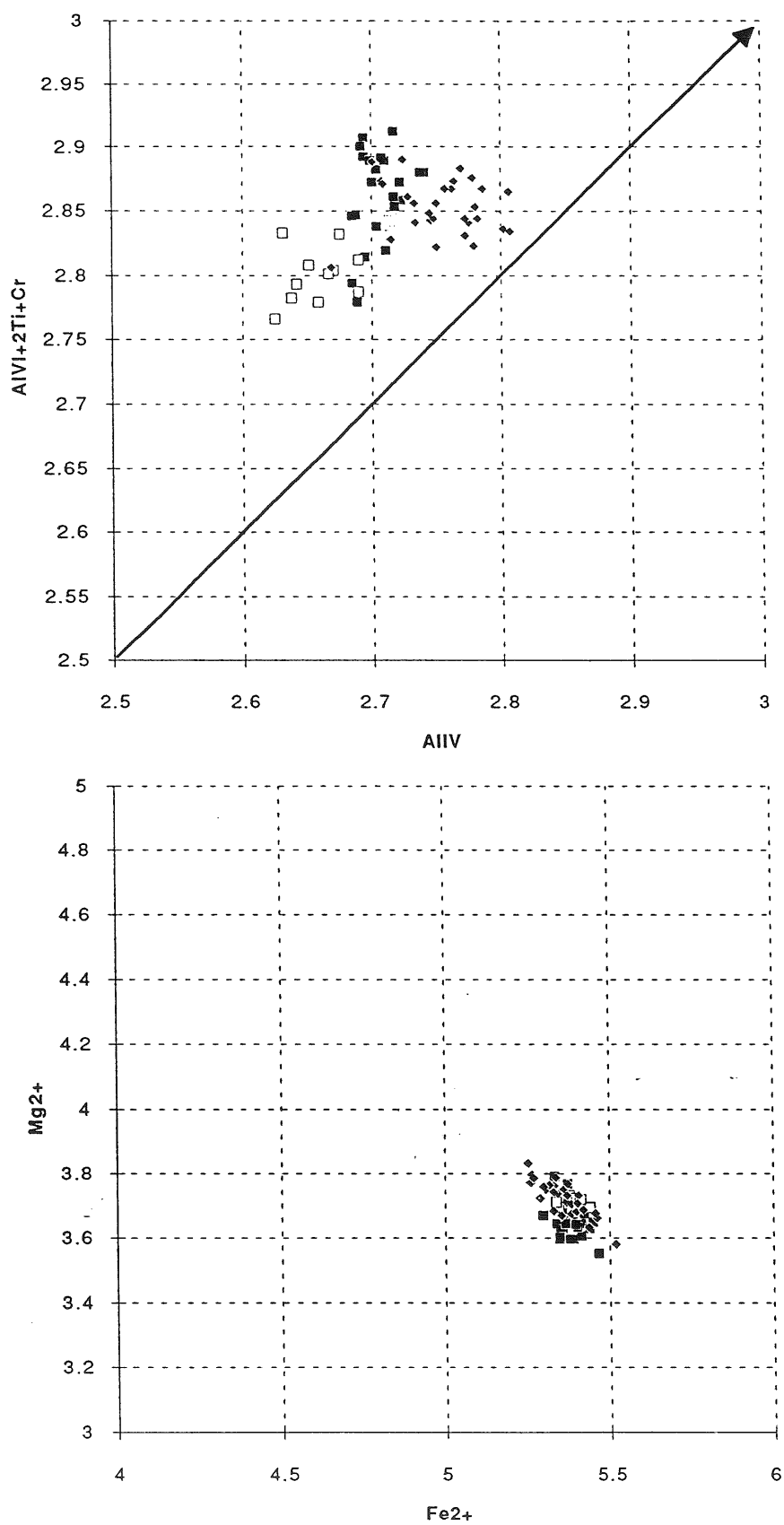


FIG.9.14a,b. Le cloriti delle metapeliti di Plan de Corones, Pusteria: nel campione 52b, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsystemi diversi: Chl-Ms-Bt cl. (22 quadrati pieni), Chl-Ilm (29 quadrati vuoti), Chl stat.-Ms (11 rombi pieni).

F) Riassumendo le cloriti delle metapeliti della Pusteria possono essere ricondotte a cinque categorie:

- 1) clorite sincinemica a contatto con muscovite e biotite (29a, 29b);
- 2) clorite sincinemica a contatto con muscovite (92a) o con muscovite e biotite cloritizzata (52b);
- 3) clorite sita in letti granoblastici a contatto con quarzo (29a, 29b, 92a);
- 4) clorite statica a contatto con ilmenite;
- 5) clorite statica a contatto con muscovite.

Le cloriti 1) , 2) e 4) presentano una sostituzione TK confrontabile tra loro e maggiore rispetto a quella dei siti 3) e 5). La sostituzione $MgFe_{-1}$ invece risulta confrontabile tra cloriti di microsistemi diversi cristallizzate nell'ambito dello stesso campione mentre cresce passando da: cloriti del campione 52b → cloriti del campione 92a → cloriti dei campioni 29a, 29b.

Questi comportamenti sono dal punto di vista petrologico tutt'altro che inattesi, trattandosi di cloriti in associazioni non limitanti. Tenuto presente tutto ciò, consideriamo il chimismo delle cloriti della categoria 1, a contatto con muscovite e biotite, rappresentativo per la zona della biotite di questa regione.

9.3.1.3 Gruppi di alta temperatura

LE CLORITI DELLE METAPELITI DI LUSON ($n=68$)

A) Dall'analisi in microsonda elettronica sono stati ottenuti in totale 68 punti analisi su 8 lamelle di clorite. Le situazioni microstrutturali e compositive delle cloriti nei due campioni selezionati risultano del tutto simili fra loro. Per questo motivo i dati analitici delle cloriti sono stati considerati globalmente.

B) I parametri statistici dei risultati compositivi ottenuti, sono forniti in TAB. 9.10. Gli elevati contenuti di Al^{IV} e $Al^{VI}+2Ti+Cr$ (FIG. 9.15a) dimostrano l'esistenza, nelle cloriti delle metapeliti di Lusson, di entità significative di sostituzione tschermakitica (evidenziata dalla distanza dall'origine) e di una sostituzione AM di media entità (evidenziata dalla distanza dei punti rispetto alla freccia). La dispersione dei punti rappresentativi di queste cloriti risulta essere molto contenuta per tutti i parametri chimici considerati nei diagrammi di FIG. 9.15a,b.

C) Dal punto di vista classificativo queste cloriti vanno riferite a:

- i) chamositi magnesifere secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) Ripidoliti secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 9.16a);

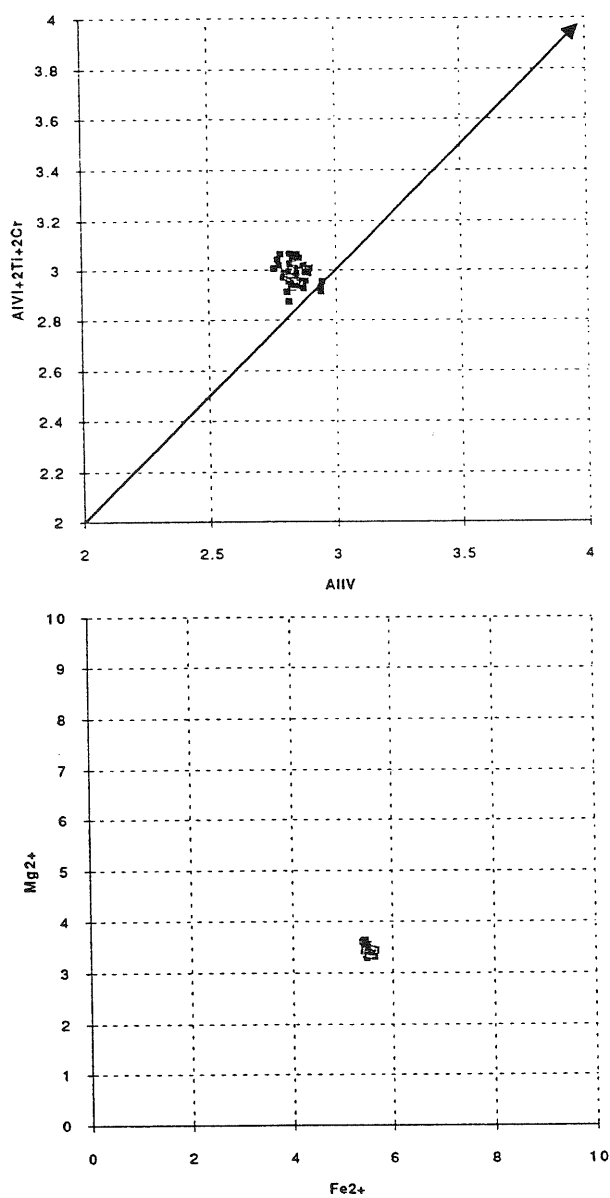


FIG. 9.15a,b. Le cloriti delle metapeliti di Lusón (68 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto delle cloriti di metapeliti.

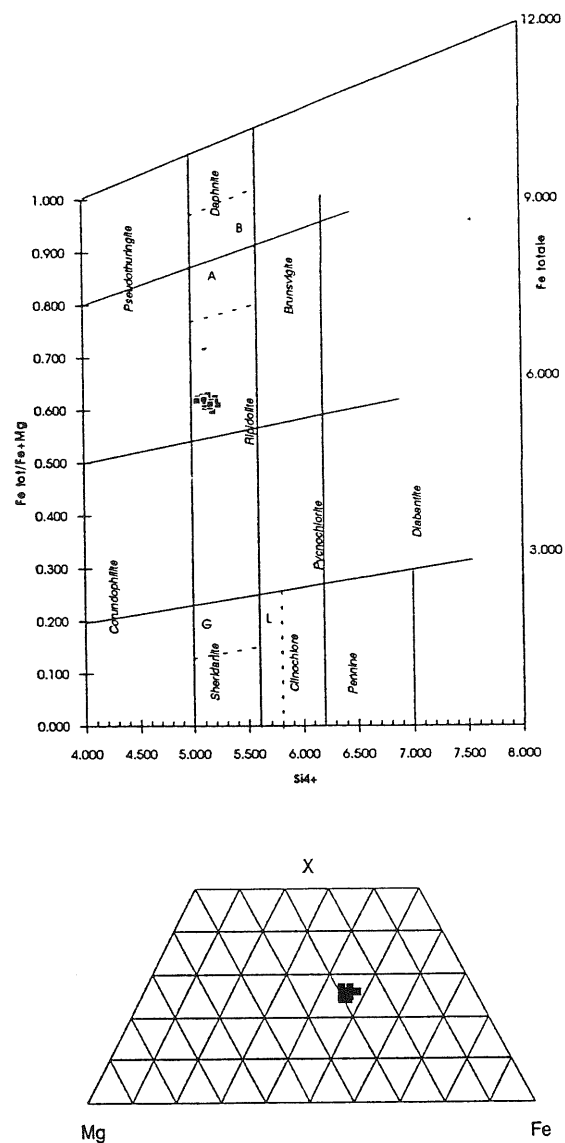


FIG. 9.16a,b. Le cloriti delle metapeliti di Lusón (68 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996).

TABELLA 9.10. Le cloriti delle metapeliti di Lusón (68 analisi): statistiche dei contenuti chimici.

SITO	->	Chl-Bt-Ms	
		media (68)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01
K ₂ O		0.03	0.03
MgO		10.55	0.23
FeO		30.24	0.38
Al ₂ O ₃		22.55	0.26
CaO		0.01	0.01
SiO ₂		23.67	0.25
MnO		0.06	0.03
TiO ₂		0.08	0.02
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02
Totale		87.22	0.64
Si+4		5.159	0.038
AlIV		2.841	0.038
totIV		8.000	
AlVI		2.953	0.039
Cr+3		0.004	0.004
Fe+2		5.513	0.063
Mn+2		0.011	0.005
Mg+2		3.428	0.069
Ti+4		0.013	0.003
totVI		11.921	
K+1		0.009	0.007
Na+1		0.004	0.006
Ca+2		0.002	0.003
Totale		19.936	
Altot		5.793	0.048
AlVI+2Ti+Cr		2.982	0.039
Fe/Fe+Mg		0.617	0.007

iii) Fe-cloriti tri-triottaedriche (FIG. 9.16b) secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) con formula schematica media: $X_{25}Mg_{46}Fe_{29}$.

D) Le lamelle prescelte provengono dallo stesso tipo di sito microstrutturale:

"Chl-Bt-Ms" (68): si tratta di otto lamelle statiche parallele a S_2 e situate in letti lepidoblastici contenenti granato. Quasi tutte le lamelle sono a contatto con muscovite. L'unica lamella di clorite a contatto con un grosso lepidoblasto di biotite mostra una composizione del tutto simile alle altre.

E) Nulla vi è da aggiungere, poiché i dati chimici provengono da un unico tipo di sito.

F) La scarsa variabilità compositiva di queste cloriti dimostra una situazione termodinamicamente più vincolata rispetto alle cloriti considerate in precedenza, cioè una situazione che nel sistema FMASH è molto prossima a quella di associazioni limitanti (cloriti a contatto con biotite e muscovite in letti a granato).

LE CLORITI DELLE METAPELITI DELLA VAL SARENTINO (n=149)

A) Nelle metapeliti della Val Sarentino sono state ottenute complessivamente 138 analisi su 16 lamelle di clorite selezionate nei campioni 28R, 90, 94. Il primo campione si differenzia dal punto di vista petrografico per la presenza di Bt+Grt mentre gli altri due campioni hanno solo granato.

B) Tutti i punti rappresentativi della composizione chimica delle cloriti dei tre campioni sono rappresentati nei diagrammi di FIG. 9.17a,b. Dalla FIG. 9.17a si nota come le cloriti dei tre campioni presentino lo stesso intervallo di variazione della sostituzione TK. Per quanto riguarda la sostituzione AM, invece, il campione 28R (rombi pieni) presenta valori più bassi dei campioni 90 (quadrati pieni) e 94 (quadrati vuoti). Il diagramma di FIG. 9.17b mostra invece una pronunciata dispersione dei punti, soprattutto nel campione 28R (rombi pieni), e quindi una elevata variabilità del grado della sostituzione FM anche tra lamelle dello stesso campione.

C) Le dispersione dei punti rappresentativi riscontrata nella FIG. 9.17b, è evidente anche nei diagrammi classificativi della FIG. 9.18a,b. Pertanto la classificazione di queste cloriti viene presentato dopo uno studio più dettagliato del loro chimismo nell'ambito dei diversi microsistemi (siti microstrutturali) in cui sono cristallizzate.

D₁, E₁) Nel campione 28R sono stati realizzati 45 punti analisi su 5 lamelle di clorite. I siti microstrutturali considerati sono:

1: "Chl-Bt-Ms" (25 analisi): si tratta di tre lamelle di clorite sincinematische parallele a S_2 , a contatto con biotite e muscovite.

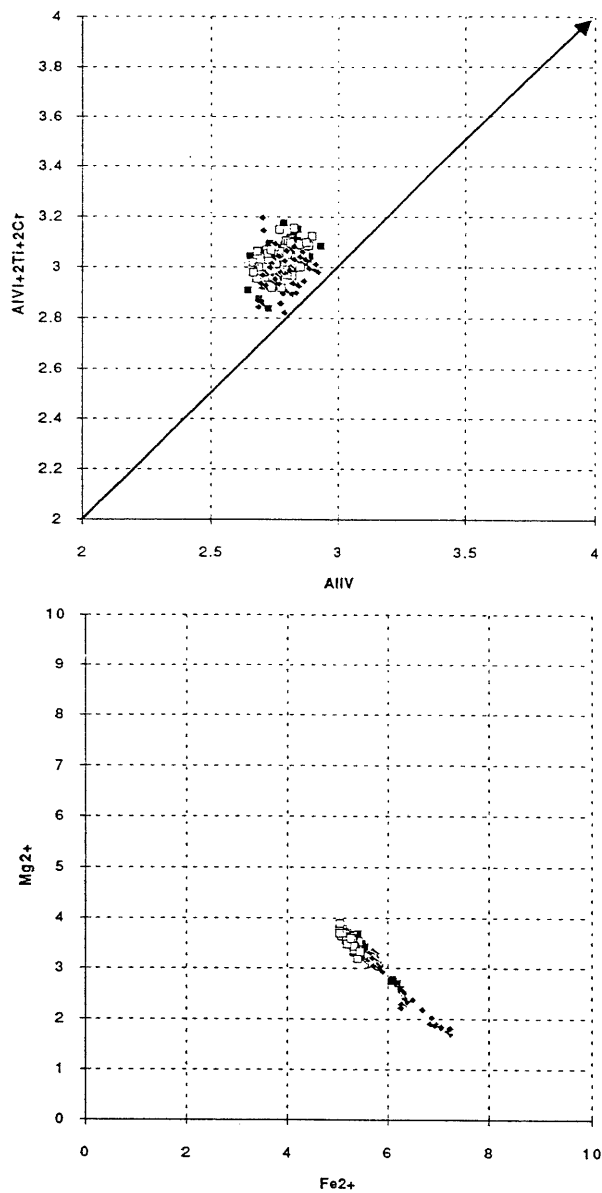


FIG. 9.17a,b. Le cloriti delle metapeliti della Val Sarentino (138 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto delle cloriti di metapeli Campioni: 90 (50 quadrati pieni); 94 (53 quadrati vuoti); 28R (46 rombi pieni).

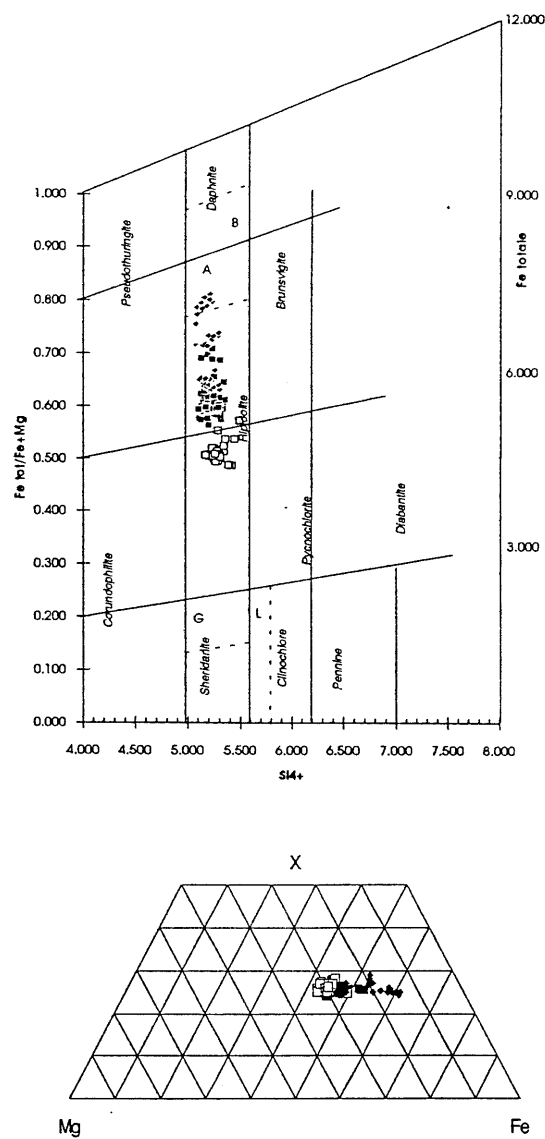


FIG. 9.18a,b. Le cloriti delle metapeliti della Val Sarentino (138 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996) Simboli come in FIG. 9.17

2: "Chl_r/Bt" (10 analisi): si tratta di una lamella di clorite retrograda da biotite.

3: "Chl_r/Grt" (10 analisi): si tratta di una lamella di clorite retrograda da granato.

Non è stato possibile analizzare alcuna clorite a contatto con granato.

I valori della media e della deviazione standard calcolati per le cloriti dei diversi siti sono presentate in TAB. 9.11. Dai dati esposti in questa tabella e dalla proiezione di tutti i dati nei diagrammi in FIG. 9.19a,b risulta evidente come i punti rappresentativi della clorite retrograda da biotite (quadrati vuoti) cadano nello stesso intervallo di sostituzione TK delle cloriti degli altri due siti (simboli pieni) anche se si concentrano verso valori più alti. Rispetto alla sostituzione AM invece, i punti rappresentativi della clorite retrograda da biotite si sovrappongono parzialmente con quelli delle cloriti degli altri due siti con valori tendenzialmente più alti di quest'ultime. Le cloriti dei tre siti si differenziano nettamente per i contenuti di Fe e Mg. Le cloriti pseudomorfe su granato (sito 3: rombi neri) e quelle retrograde da biotite (sito 2: quadrati vuoti) risultano infatti più ricche in ferro delle cloriti sincinematiche a contatto con biotite (sito 1: quadrati pieni). Dalla TAB. 9.11 risulta inoltre un maggiore contenuto di Mn²⁺ nelle cloriti del sito 3, e in minore misura in quelle del sito 2, rispetto alle cloriti del sito 1. Va rimarcato che solo la composizione delle cloriti del sito 1 è rappresentativa delle condizioni termiche relative alla zona ad almandino della facies degli scisti verdi.

D₂, E₂) Nel campione 90 sono stati realizzati 40 punti analisi su 5 lamelle di clorite. I siti microstrutturali considerati sono:

1: "Chl-Ms" (23 analisi): si tratta di due lamelle di clorite sincinematiche lungo S₂ a contatto con muscovite;

2: "Chl-Ilm" (17 analisi): si tratta di tre lamelle di clorite statiche cristallizzate in ombre di pressione a contatto con ilmenite.

Anche in questo caso non è stato possibile analizzare lamelle di clorite a stretto contatto con granato.

I dati chimici riassuntivi per le cloriti dei due siti sono riportate in TAB. 9.12. I singoli risultati ottenuti sono invece rappresentati nei diagrammi di FIG. 9.20a,b. E' evidente per le cloriti di entrambi i siti, ed in particolare per le cloriti a contatto con ilmenite una elevata dispersione dei punti rappresentativi, soprattutto per quanto riguarda i contenuti di ferro. La variabilità compositiva nelle cloriti dei due siti è comunque compresa entro intervalli confrontabili. Nella colonna "dati globali" della TAB. 9.12 quindi è stata calcolata la media globale di tutte le analisi.

D₃, E₃) Nel campione 94 si sono ottenute complessivamente 50 analisi su 6 lamelle di

TABELLA 9.11. Le cloriti delle metapeliti della Val Sarentino: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione 28R.

SITO	->	1: Chl-Bt-Ms		2: Chl r/Bt		3: Chl r/Grt	
		media (25)	dev.st.	media (10)	dev.st.	media (10)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
K ₂ O		0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
MgO		9.92	0.32	7.24	0.30	5.61	0.46
FeO		31.54	0.32	34.43	0.44	37.44	0.71
Al ₂ O ₃		22.32	0.37	22.34	0.36	21.75	0.56
CaO		0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02
SiO ₂		24.08	0.26	23.70	0.31	22.99	0.24
MnO		0.11	0.03	0.37	0.06	0.56	0.05
TiO ₂		0.08	0.02	0.07	0.02	0.13	0.08
Cr ₂ O ₃		0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02
Totale		84.72	17.28	88.25	0.73	88.59	0.72
Si+4		5.226	0.054	5.226	0.048	5.156	0.056
AlIV		2.774	0.054	2.774	0.048	2.845	0.056
totIV		8.000		8.000		8.000	
AlVI		2.931	0.057	3.033	0.071	2.902	0.056
Cr+3		0.002	0.003	0.005	0.005	0.005	0.003
Fe+2		5.719	0.067	6.350	0.070	7.023	0.181
Mn+2		0.020	0.005	0.068	0.011	0.107	0.010
Mg+2		3.214	0.103	2.381	0.106	1.875	0.139
Ti+4		0.013	0.003	0.011	0.004	0.023	0.013
totVI		11.898		11.848		11.935	
K+1		0.006	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003
Na+1		0.003	0.007	0.005	0.007	0.004	0.005
Ca+2		0.002	0.003	0.004	0.004	0.008	0.005
Totale		19.909		19.862		19.949	
Altot		5.698	0.101	5.807	0.057	5.747	0.095
AlVI+2Ti+Cr		2.958	0.057	3.061	0.071	2.953	0.069
Fe/Fe+Mg		0.640	0.009	0.728	0.009	0.789	0.016

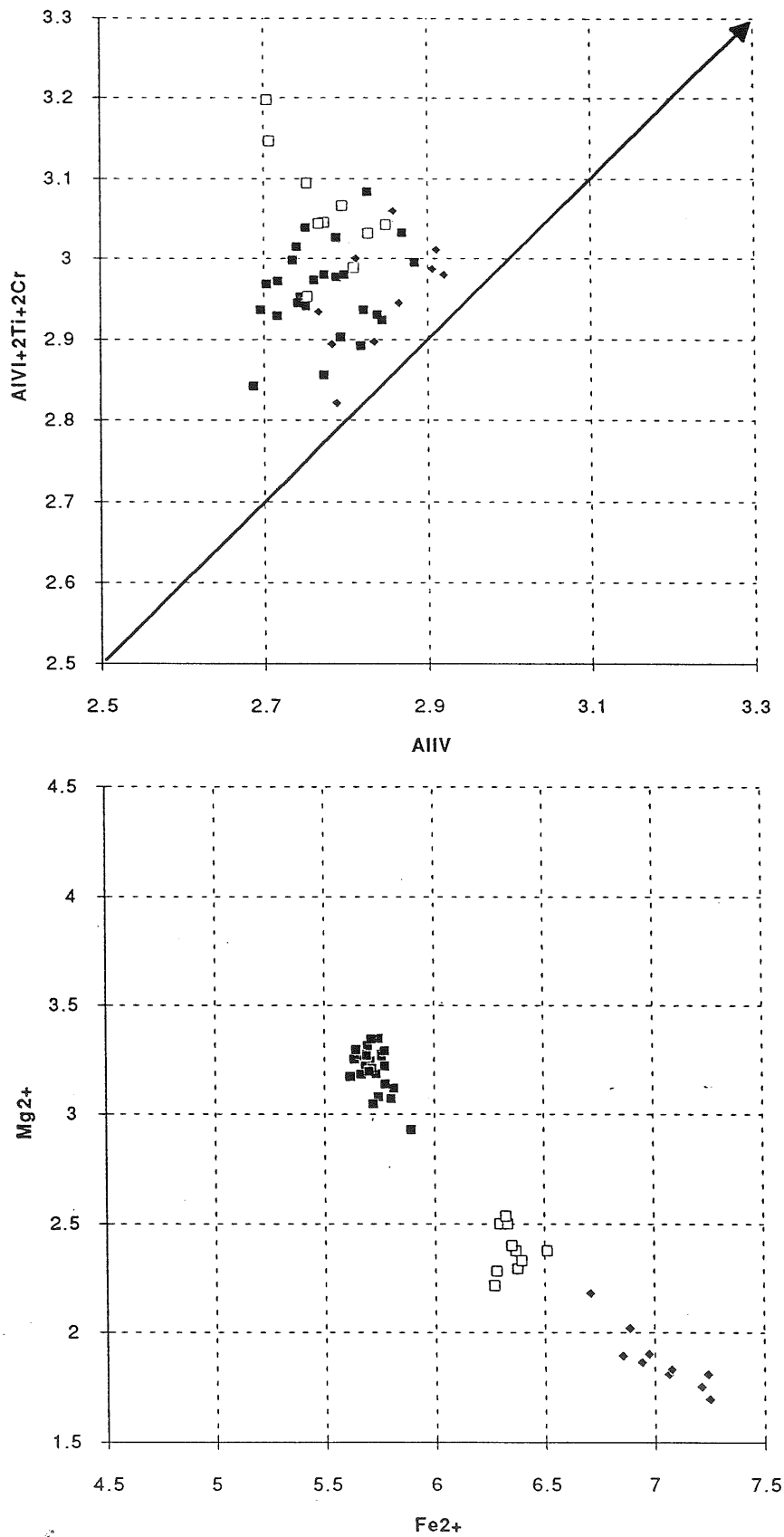


FIG. 9.19a,b. Le cloriti delle metapeliti della Val Sarentino: nel campione 28R, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl-Ms-Bt (25 quadrati pieni), Chl r/Bt (10 quadrati vuoti), Chl r/Grt (10 rombi pieni).

TABELLA 9.12. Le cloriti delle metapeliti della Val Sarentino: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione 90.

SITO	->	1: Chl-Ms		1: Chl-Ilm		dati globali 1+2	
		media (23)	dev.st.	media (17)	dev.st.	media (40)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
K ₂ O		0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO		10.48	0.61	10.22	0.66	10.36	0.64
FeO		30.52	0.67	30.94	0.54	30.70	0.65
Al ₂ O ₃		22.48	0.69	22.62	0.35	22.54	0.56
CaO		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
SiO ₂		24.35	0.34	23.96	0.50	24.18	0.46
MnO		0.04	0.04	0.09	0.08	0.06	0.06
TiO ₂		0.20	0.20	0.20	0.09	0.20	0.16
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
Totale		84.47	18.00	88.09	0.69	84.02	18.78
Si+4		5.245	0.066	5.187	0.060	5.221	0.069
Al ^{IV}		2.755	0.066	2.813	0.060	2.779	0.069
tot ^{IV}		8.000		8.000		8.000	
Al ^{VI}		3.057	0.072	2.943	0.065	2.951	0.093
Cr+3		0.004	0.004	0.003	0.002	0.003	0.003
Fe+2		5.419	0.090	5.621	0.184	5.538	0.144
Mn+2		0.005	0.004	0.017	0.015	0.012	0.012
Mg+2		3.346	0.110	3.281	0.196	3.336	0.193
Ti+4		0.015	0.005	0.033	0.014	0.033	0.026
tot ^{VI}		11.845		11.897		11.873	
K+1		0.006	0.004	0.002	0.002	0.003	0.003
Na+1		0.002	0.003	0.003	0.006	0.003	0.006
Ca+2		0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004
Totale		19.855		19.907		19.883	
Altot		5.850	0.111	5.762	0.109	5.731	0.151
Al ^{VI} +2Ti+Cr		3.090	0.066	3.011	0.062	3.019	0.084
Fe/Fe+Mg		0.618	0.011	0.632	0.021	0.624	0.019

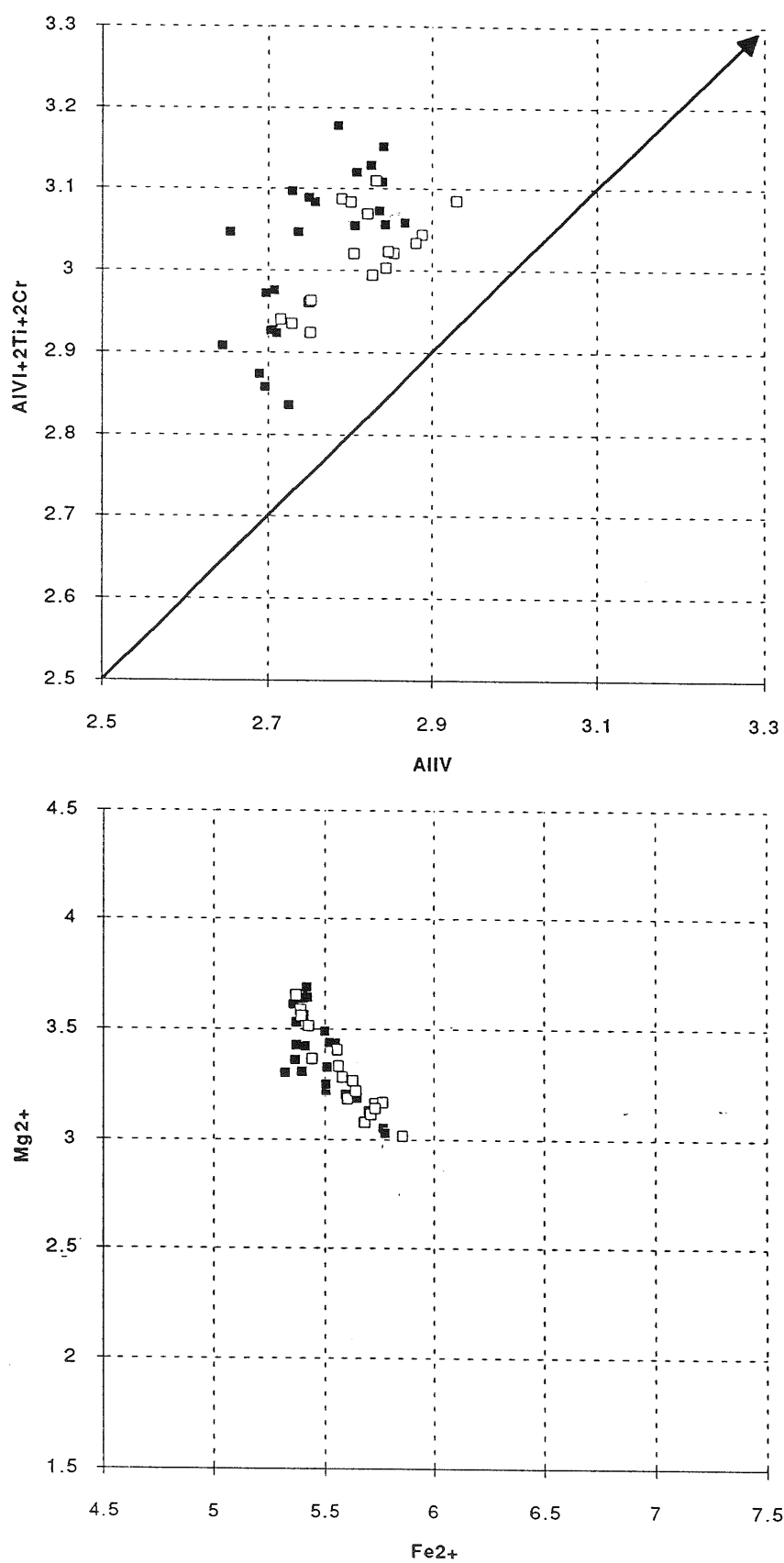


FIG. 9.20a,b. Le cloriti delle metapeliti della Val Sarentino: nel campione 90, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl-Ms (23 quadrati pieni), Chl-Ilm (17 quadrati vuoti).

clorite. Le lamelle provengono dai seguenti siti microstrutturali:

- 1: "Chl-Ms" (15 analisi): si tratta di due lamelle di clorite sincinemica parallele a S_2 ed a contatto con muscovite;
- 2: "Chl-Qtz" (7 analisi): si tratta di una lamella di clorite sita in un letto granoblastico a contatto con quarzo;
- 3: "Chl-Ilm" (15 analisi): si tratta di due lamelle di clorite statica cristallizzate in ombre di pressione a contatto con ilmeniti;
- 4: "Chl_F/Grt" (16): si tratta di clorite pseudomorfa su granato.

La clorite a contatto con quarzo (quadrati vuoti) (FIG. 9.21a,b) risulta essere molto simile compositivamente alla clorite a contatto con ilmenite (rombi pieni), tranne che per il contenuto in Ti^{4+} (TAB. 9.13). La clorite a contatto con muscovite (quadrati pieni) si differenzia dalle cloriti degli altri siti per un minore contenuto di Al^{IV} ma non per il grado di sostituzione FM salvo che rispetto alla clorite pseudomorfa su granato (rombi vuoti): quest'ultima infatti mostra una notevole dispersione dei punti rappresentativi della sostituzione FM con tendenza ad un arricchimento in Fe^{2+} .

C) Le cloriti di questi campioni possono ora essere classificate come:

- i) chamositi magnesifere secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) Ripidoliti (FIG. 9.18a) secondo il diagramma classificativo di HEY (1954)
- iii) Fe-cloriti tri-triottaedriche (FIG. 9.18b) secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) con formula schematica media:

$X_{25}Mg_{27}Fe_{48}$ (campione 28R sito1);

$X_{27}Mg_{20}Fe_{53}$ (campione 28R sito2);

$X_{25}Mg_{16}Fe_{59}$ (campione 28R sito3);

$X_{26}Mg_{27}Fe_{47}$ (campione 90);

$X_{26}Mg_{30}Fe_{44}$ (campione 94).

F) Riassumendo, nelle metapeliti della Val Sarentino sono state riconosciute tre categorie di cloriti:

- 1) cloriti sincinematiche parallele a S_2 , a contatto con quarzo (94), oppure con muscovite e biotite (28R) oppure solo con muscovite (90, 94);
- 2) cloriti statiche cristallizzate in ombre di pressione a contatto con ilmenite (90, 94);
- 3) cloriti pseudomorfe su biotite (28R) oppure su granato (28R, 94).

Le cloriti sincinematiche e quelle cristallizzate in una fase statica nelle ombre di pressione dell'ilmenite possono essere considerate rappresentative delle condizioni termiche relative alla zona a granato almandino della facies degli scisti verdi. L'entità

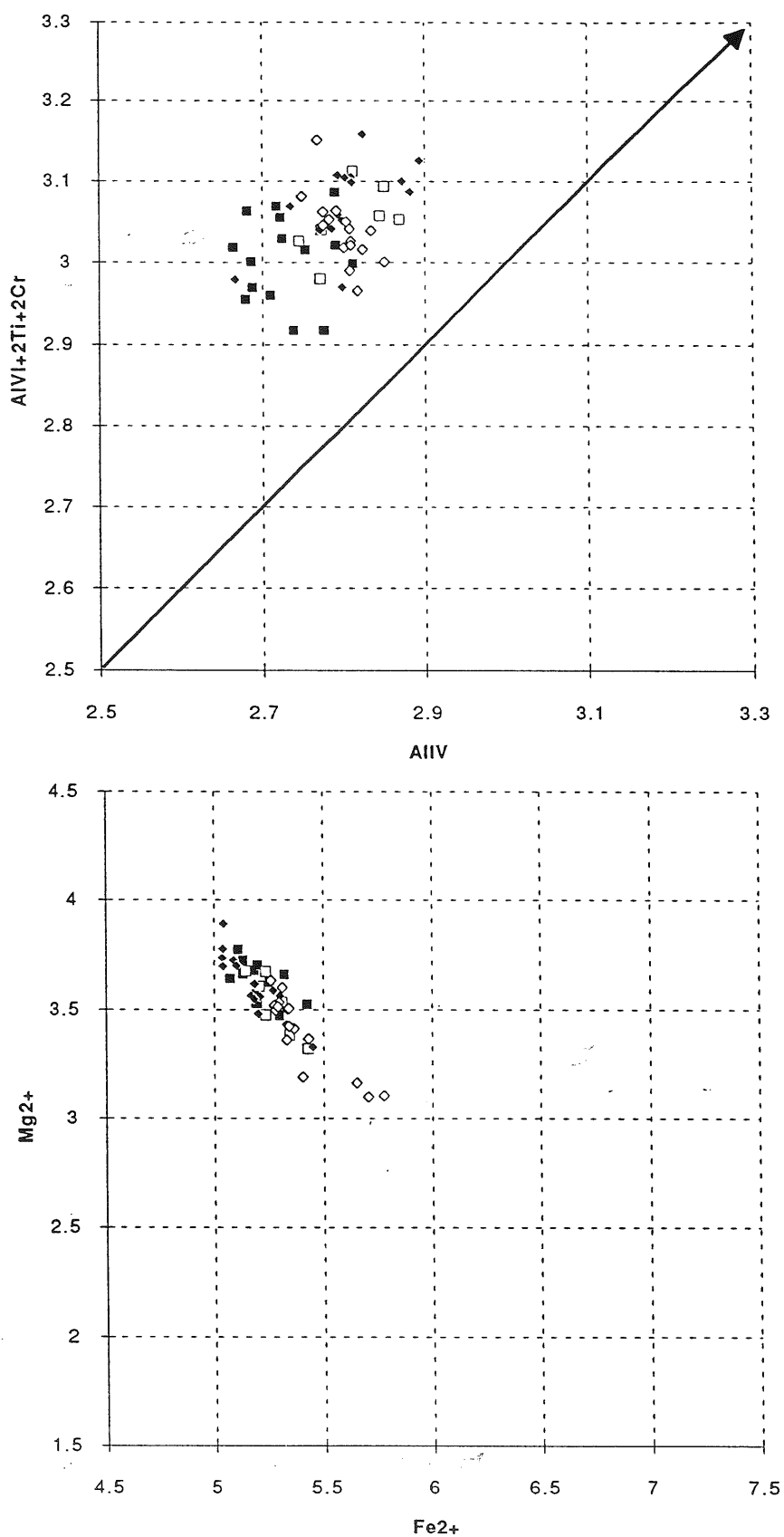


FIG. 9.21a,b. Le cloriti delle metapeliti della Val Sarentino: nel campione 94, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl-Ms (15 quadrati pieni), Chl-Ilm (15 rombi pieni), Chl r/Grt (16 rombi vuoti).

TABELLA 9.13. Le cloriti delle metapeliti della Val Sarentino: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione 94.

SITO	->	1: Chl-Ms		2: Chl-Qz		3: Chl-Ilm		4: Chl (r) da Grt	
		media (15)	dev.st.	media (7)	dev.st.	media (15)	dev.st.	media (16)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
K ₂ O		0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03
MgO		11.35	0.27	10.94	0.38	11.39	0.43	10.64	0.61
FeO		29.01	0.52	29.20	0.66	29.12	0.75	30.11	0.68
Al ₂ O ₃		22.57	0.29	22.93	0.47	23.13	0.44	23.00	0.26
CaO		0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
SiO ₂		24.59	0.27	24.04	0.27	24.45	0.28	24.25	0.28
MnO		0.18	0.07	0.18	0.08	0.19	0.06	0.24	0.09
TiO ₂		0.09	0.02	0.07	0.02	0.23	0.15	0.07	0.02
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
Totale		87.88	0.41	87.45	0.87	88.60	0.62	88.41	0.49
Si+4		5.271	0.046	5.191	0.047	5.198	0.056	5.200	0.026
AlIV		2.729	0.046	2.809	0.047	2.802	0.056	2.800	0.026
totIV		8.000		8.000		8.000		8.000	
AlVI		2.973	0.057	3.002	0.079	2.995	0.061	3.012	0.041
Cr+3		0.004	0.004	0.003	0.004	0.005	0.005	0.004	0.003
Fe+2		5.202	0.093	5.262	0.095	5.177	0.123	5.401	0.162
Mn+2		0.033	0.012	0.032	0.013	0.034	0.011	0.043	0.016
Mg+2		3.628	0.086	3.574	0.193	3.612	0.144	3.401	0.173
Ti+4		0.014	0.003	0.011	0.003	0.036	0.023	0.012	0.003
totVI		11.853		11.885		11.860		11.873	
K+1		0.007	0.005	0.008	0.009	0.002	0.003	0.006	0.007
Na+1		0.004	0.006	0.002	0.004	0.004	0.005	0.005	0.008
Ca+2		0.003	0.003	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003
Totale		19.867		19.898		19.868		19.886	
Altot		5.702	0.077	5.817	0.092	5.797	0.104	5.812	0.030
AlVI+2Ti+Cr		3.005	0.053	3.028	0.078	3.073	0.051	3.039	0.042
Fe/Fe+Mg		0.589	0.009	0.596	0.017	0.589	0.015	0.614	0.019

della sostituzione TK nelle cloriti sincinematiche rispetto a quelle statiche e retrograde varia da campione a campione (FIGG. 9.19a, 9.20a, 9.21a). L'entità della sostituzione FM risulta invece confrontabile tra cloriti sincinematiche e cloriti statiche (90, 94) mentre si nota un generale arricchimento in Fe delle cloriti retrograde rispetto alle cloriti sincinematiche e statiche (28R, 94). La clorite retrograda su granato inoltre, risulta molto più ricca in Fe nel campione 28R (caratterizzato dalla presenza di biotite) piuttosto che nel campione 94 (dove è assente la biotite). La sostituzione AM si presenta grosso modo confrontabile tra cloriti cristallizzate in siti diversi nell'ambito dello stesso campione se si eccettua la Chl_T/Bt del campione 28R, che mostra valori tendenzialmente più alti (FIG. 9.19a), mentre esiste una differenza nell'entità di sostituzione AM tra cloriti di campioni diversi risultando maggiore nei campioni 90 e 94 (FIG. 9.18a).

A prescindere dalle cloriti retrograde su biotite, il cui chimismo ovviamente risente di vincoli topochimici, tutte le altre variabilità sopra descritte chiaramente riflettono, come prevedibile, il fatto che le cloriti analizzate appartengono ad associazioni non limitanti. Alla luce di quanto sopra, mi sembra evidente che solo le cloriti del campione 28R situato a contatto con muscovite e biotite in letto granatifero, approssimando la situazione d'associazione limitante nel sistema FMASH, possono essere considerate rappresentative del chimismo delle cloriti di questa regione per la zona ad almandino. Tentativamente, invece, le cloriti pseudomorfe su biotite e su granato vanno riferite a condizioni termiche della zona della clorite.

9.3.2 Cloriti di metabasiti

9.3.2.1 Gruppi di bassa temperatura

LE CLORITI DELLE METABASITI DI DOBBIACO ($n=68$)

A) Nelle metabasiti di Dobbiaco sono state realizzate complessivamente 68 analisi su 6 diverse lamelle di clorite selezionate nei campioni D1, D3, D4. Questi campioni si caratterizzano, dal punto di vista petrografico, in due sottogruppi, principalmente per la presenza di minerali opachi diversi: i campioni D1 e D3 sono caratterizzati dalla presenza di muscovite, magnetite ed ematite, mentre il campione D4 è caratterizzato dalla presenza di ilmenite e dalla quasi assenza di muscovite.

I campioni D1 e D3 sono molto simili dal punto di vista compositivo e microstrutturale e le relative analisi chimiche verranno considerate globalmente.

B) Dalla FIG. 9.22a,b risulta subito evidente che c'è una notevole differenza compositiva

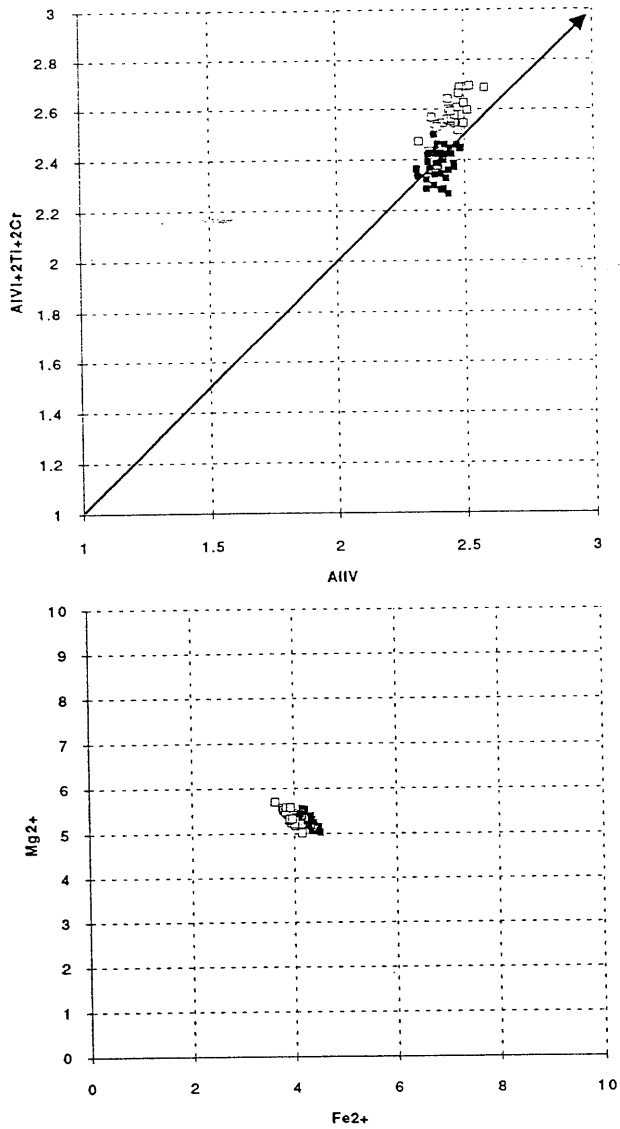


FIG. 9.22a,b. Le cloriti delle metabasiti di Dobbiaco (68 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metabasiti. Campioni: D1e D3 (44 quadrati pieni), D4 (24 quadrati vuoti).

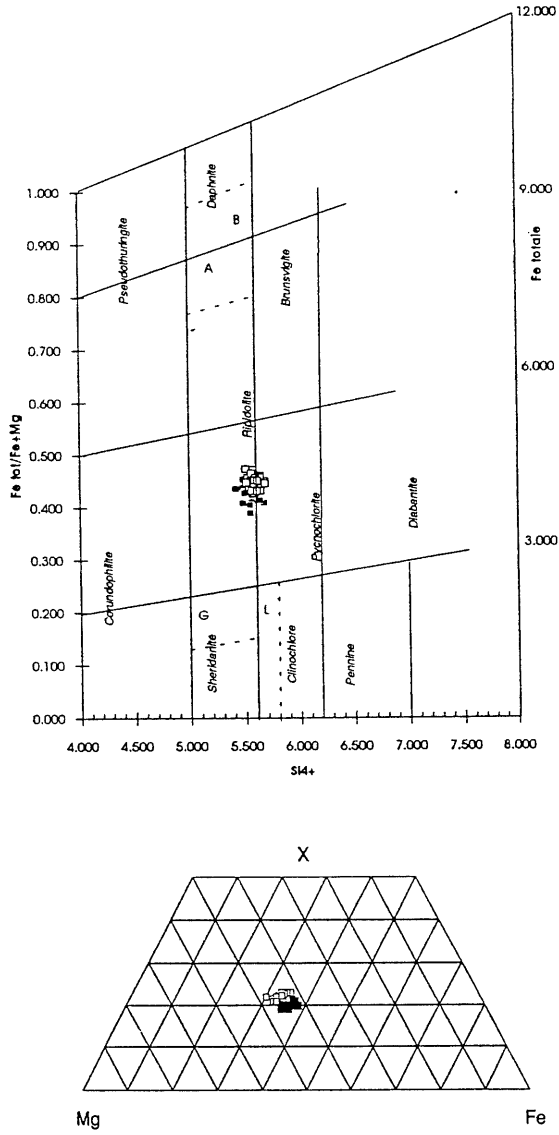


FIG. 9.23a,b. Le cloriti delle metabasiti di Dobbiaco (68 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996). Simboli come in FIG. 9.22.

tra le cloriti del campione D4 e le cloriti dei campioni D1 e D3, specialmente per quanto riguarda il contenuto in Al^{IV} , $Al^{VI}+2Ti+Cr$ e Fe_{tot} . Nelle prime (quadrati vuoti) la sostituzione TK è maggiore rispetto a quella presente nelle seconde (quadrati pieni) ed altrettanto dicasi per la sostituzione AM. Inoltre, mentre il campione D4, che contiene ilmenite, ha un contenuto di $Al^{VI}+2Ti+Cr$ superiore a quello di Al^{IV} (i punti cadono nella zona di difettualità soprastante la retta, FIG. 9.22a), nei campioni D1 e D3 (quadrati pieni) la situazione è spesso opposta: infatti molti punti cadono nella zona di saturazione sottostante la retta. Nelle cloriti del campione D4 è presente quindi una sostituzione AM. Nei campioni D1 e D3 invece, dato che il contenuto in Al^{IV} supera quello di Al^{VI} , si può ipotizzare che altri cationi trivalenti (presumibilmente Fe^{3+} dato che Cr e Ti sono presenti in piccole quantità) siano entrati in coordinazione ottaedrica sostituendo Al^{VI} con un rapporto 1:1.

Le cloriti dei campioni D1 e D3 (quadrati pieni) risultano inoltre (FIG. 9.22b) più ferrifere di quelle del campione D4, mentre l'intervallo di variazione del Mg^{2+} è sostanzialmente lo stesso. Ad una maggiore fO_2 , testimoniata dalla presenza di magnetite+ematite, corrisponderebbe quindi un maggior contenuto di ferro ferrico rispetto a quello di cloriti associate ad ilmeniti e grafite. Questa caratteristica, già prevista da GUIDOTTI & SASSI (1976), è stata dimostrata per muscovite e biotite (GUIDOTTI & DYAR, 1991; GUIDOTTI *et al.*, 1994). Tuttavia DYAR *et al.* (1992) hanno dimostrato che nelle cloriti il contenuto di ferro trivalente, in campioni formati a diverso grado di ossidazione, non supera il 15% del Fe_{tot} e non dipende né dalla fO_2 , né dalla temperatura. Il contenuto di Fe^{3+} comunque che si può stimare nelle cloriti dei campioni D1 e D3 dalla differenza tra trivalenti in coordinazione ottaedrica ($Al^{VI}+2Ti+Cr$) e trivalenti in coordinazione tetraedrica (Al^{IV}) è di appena lo 0.5% del Fe_{tot} .

C) Dal punto di vista classificativo le cloriti delle metabasiti di Dobbiaco si possono ricondurre a:

- i) clinoclori ferriferi secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) ripidoliti sia pur con qualche punto che cade nel campo delle picnocloriti secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 9.23a);
- iii) Mg-cloriti tri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) con formula schematica media $X_{22}Mg_{45}Fe_{33}$ per il campione D4 e $X_{20}Mg_{44}Fe_{36}$ per quelle dei campioni D1 e D3 (FIG. 9.23b).

D) Questi campioni non si sono rivelati molto facili da studiare: infatti, la grana minuta e difficoltà di lucidatura non hanno permesso l'acquisizione di molti dati chimici.

TABELLA 9.14. Le cloriti delle metabasiti di Dobbiaco :
statistiche dei contenuti chimici delle cloriti nei campioni
D1, D3, D4.

CAMPIONI	D4 (Chl-Ilm)		D1, D3 (Chl-Mag)	
	media (24)	dev.st.	media (44)	dev.st.
Na ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.01
K ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO	17.20	0.52	16.90	0.44
FeO	22.41	0.61	24.48	0.51
Al ₂ O ₃	20.32	0.50	19.32	0.38
CaO	0.02	0.01	0.01	0.02
SiO ₂	26.43	0.27	26.73	0.25
MnO	0.20	0.04	0.38	0.10
TiO ₂	0.04	0.02	0.05	0.02
Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	0.02	0.03
Totale	86.65	0.37	87.91	0.55
Si+4	5.546	0.057	5.597	0.039
AlIV	2.454	0.057	2.403	0.039
totIV	8.000		8.000	
AlVI	2.571	0.070	2.364	0.058
Cr+3	0.002	0.002	0.004	0.004
Fe+2	3.933	0.113	4.286	0.097
Mn+2	0.036	0.008	0.067	0.018
Mg+2	5.380	0.155	5.276	0.129
Ti+4	0.006	0.003	0.007	0.003
totVI	11.927		12.005	
K+1	0.004	0.004	0.002	0.002
Na+1	0.004	0.005	0.003	0.006
Ca+2	0.004	0.003	0.003	0.003
Totale	19.939		20.013	
Altot	5.025	0.119	4.768	0.080
AlVI+2Ti+Cr	2.584	0.069	2.383	0.056
Fe/Fe+Mg	0.422	0.013	0.448	0.011

Inoltre, pur essendoci all'interno di ciascun campione lamelle di clorite nei letti granoblastici che nei letti lepidoblastici, le analisi in microsonda sono state possibili solo nei livelli lepidoblastici dove le lamelle di clorite raggiungono maggiori dimensioni. Tutte le lamelle analizzate vanno riferite quindi ad un solo sito tipo di sito microstrutturale, o meglio di microsistema e precisamente a livelli lepidoblastici nei quali la clorite risulta il principale costituente. La TAB. 9.14 fornisce i parametri statistici relativi alle analisi delle cloriti dei due sottogruppi.

E) Essendo i siti delle cloriti analizzate sostanzialmente tutti analoghi, non vi è nulla da aggiungere se non rimarcare il fatto che le cloriti analizzate dei campioni D₁ e D₃ è sostanzialmente circondata da clorite e coesiste con magnetite+ematite mentre quella del campione D₄ coesiste con mica chiara ed ilmenite.

F) Si noti che le cloriti cristallizzate in ambiente ossidante (ematite+magnetite: campioni D₁ e D₃) hanno valori di Fe+Mg sistematicamente più alti (FIG. 9.22b) e cadono in gran parte nell'area di saturazione sottostante la freccia (FIG. 9.22a), effetti entrambi spiegabili aumentando maggiori quantità di Fe³⁺.

Le cloriti del campione D₄, essendo a contatto con muscovite, sembrano più proponibili delle altre per rappresentare, per questa regione, il chimismo delle cloriti cristallizzate in ambiente non ossidato (presenza di ilmenite) a temperature corrispondenti alla zona di più bassa temperatura (clorite-actinolite) delle facies degli scisti verdi.

LE CLORITI DELLE METABASITI DI RECOARO (n=175)

A) Sono state effettuate 173 analisi su 20 lamelle di clorite selezionate nei campioni REC2, REC3, REC4, REC6. Data la similarità compositiva e microstrutturale tra i quattro campioni scelti a rappresentare queste metabasiti, i dati analitici delle cloriti verranno considerati globalmente.

B) Complessivamente (FIG. 9.24a,b), le cloriti delle metabasiti di Recoaro mostrano un certo grado di sostituzione tschermakitica rispetto alla composizione dell'"end-member" clinocloro-chamosite (che cade esattamente al centro del diagramma di FIG. 9.24a, ed una discreta sostituzione AM. La dispersione dei punti rappresentativi è abbastanza ampia per il parametro Al^{IV} mentre è alquanto ristretta per i contenuti di Fe e Mg.

C) A seconda del sistema classificativo queste cloriti vanno denominate:

- i) clinoclori ferriferi secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) ripidoliti secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 9.25a);
- iii) Mg-cloriti tri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE &

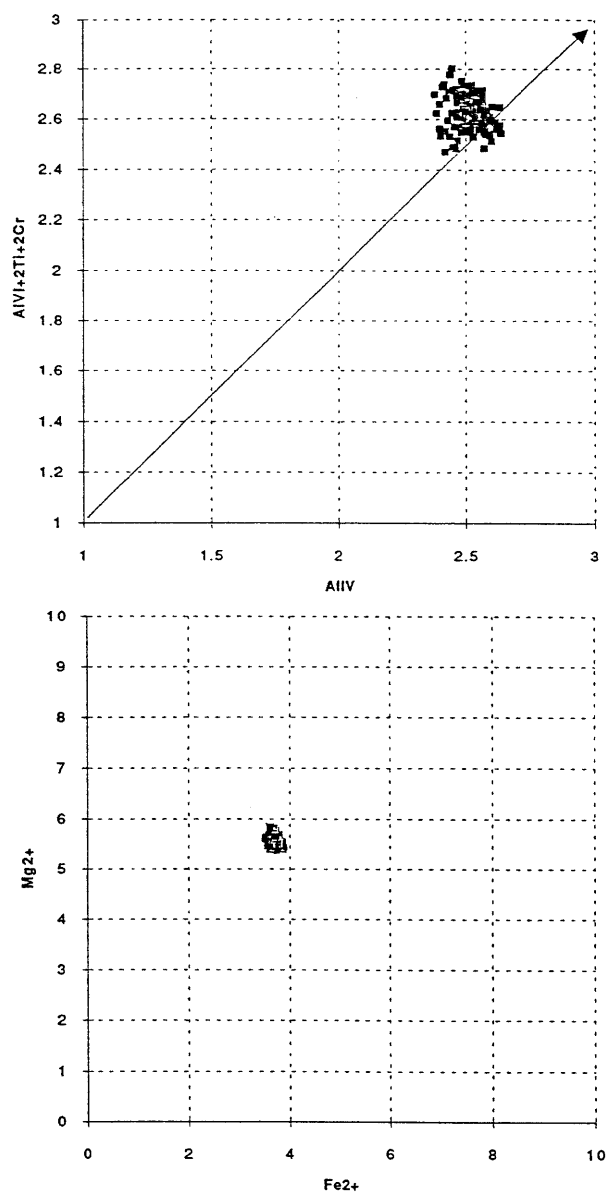


FIG. 9.24a,b. Le cloriti delle metabasiti di Recoaro (175 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metabasiti.

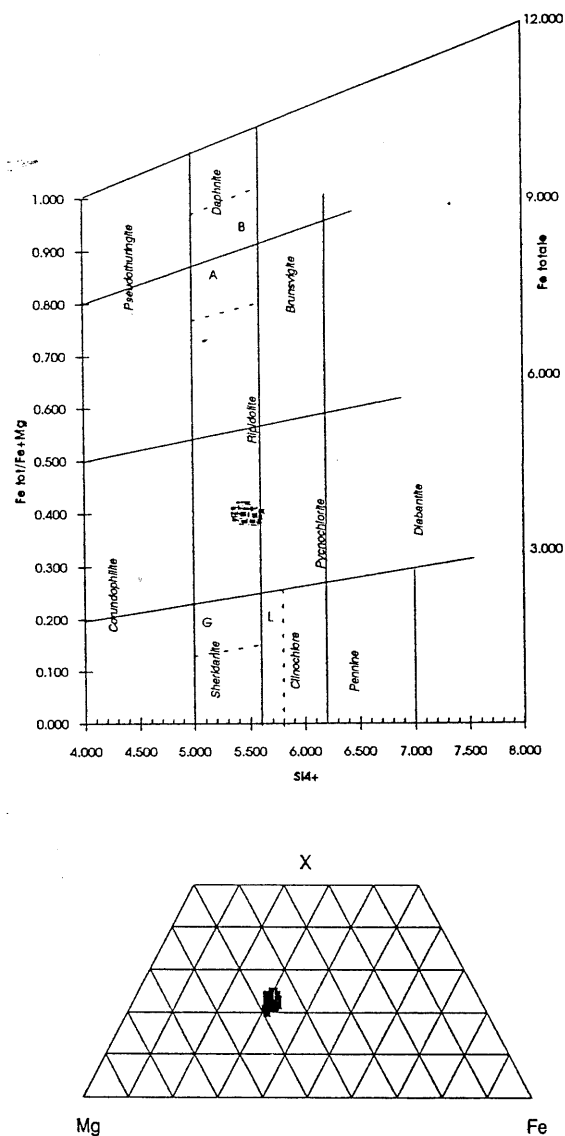


FIG. 9.25a,b. Le cloriti delle metabasiti di Recoaro (175 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996).

TABELLA 9.15. Le cloriti delle metabasiti di Recoaro (175 analisi): statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsystemi.

SITO	->	1: Chl-Mag		2: Chl-Ms		3: Chl-Ab-Ep		4: Chl-Qz		dati globali 1+2+3+4	
		media (34)	dev.st.	media (48)	dev.st.	media (68)	dev.st.	media 23)	dev.st.	media (173)	dev.st.
Na2O		0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02
K2O		0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
MgO		18.27	0.42	18.09	0.30	18.02	0.37	17.93	0.35	18.08	0.37
FeO		21.42	0.32	21.26	0.49	21.33	0.41	21.24	0.44	21.32	0.42
Al2O3		20.96	0.21	20.94	0.38	21.00	0.38	20.90	0.25	20.96	0.33
CaO		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
SiO2		26.44	0.27	26.32	0.32	26.44	0.32	26.41	0.31	26.41	0.31
MnO		0.23	0.04	0.23	0.04	0.23	0.04	0.23	0.04	0.23	0.04
TiO2		0.05	0.02	0.09	0.03	0.07	0.03	0.06	0.02	0.07	0.03
Cr2O3		0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Totale		87.43	0.63	87.01	0.67	87.15	0.75	86.83	0.65	87.13	0.71
Si+4		5.467	0.038	5.469	0.052	5.482	0.053	5.493	0.054	5.477	0.051
AlIV		2.533	0.038	2.531	0.052	2.518	0.053	2.507	0.054	2.523	0.051
totIV		8.000		8.000		8.000		8.000		8.000	0.000
AlVI		2.577	0.060	2.591	0.075	2.612	0.065	2.618	0.051	2.599	0.063
Cr+3		0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Fe+2		3.703	0.071	3.691	0.084	3.696	0.067	3.695	0.075	3.696	0.072
Mn+2		0.040	0.007	0.041	0.007	0.041	0.006	0.041	0.007	0.040	0.007
Mg+2		5.631	0.101	5.605	0.095	5.571	0.096	5.561	0.090	5.591	0.099
Ti+4		0.008	0.004	0.014	0.006	0.011	0.005	0.009	0.003	0.011	0.005
totVI		11.960		11.946		11.933		11.927		11.941	0.044
K+1		0.005	0.008	0.003	0.005	0.004	0.006	0.005	0.007	0.004	0.006
Na+1		0.004	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004
Ca+2		0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.005
Totale		19.974		19.958		19.944		19.938		19.953	0.044
Altot		5.109	0.056	5.122	0.081	5.129	0.079	5.125	0.058	5.122	0.071
AlVI+2Ti+Cr		2.594	0.062	2.623	0.071	2.636	0.061	2.639	0.048	2.624	0.060
Fe/Fe+Mg		0.397	0.007	0.397	0.007	0.399	0.007	0.399	0.007	0.398	0.007

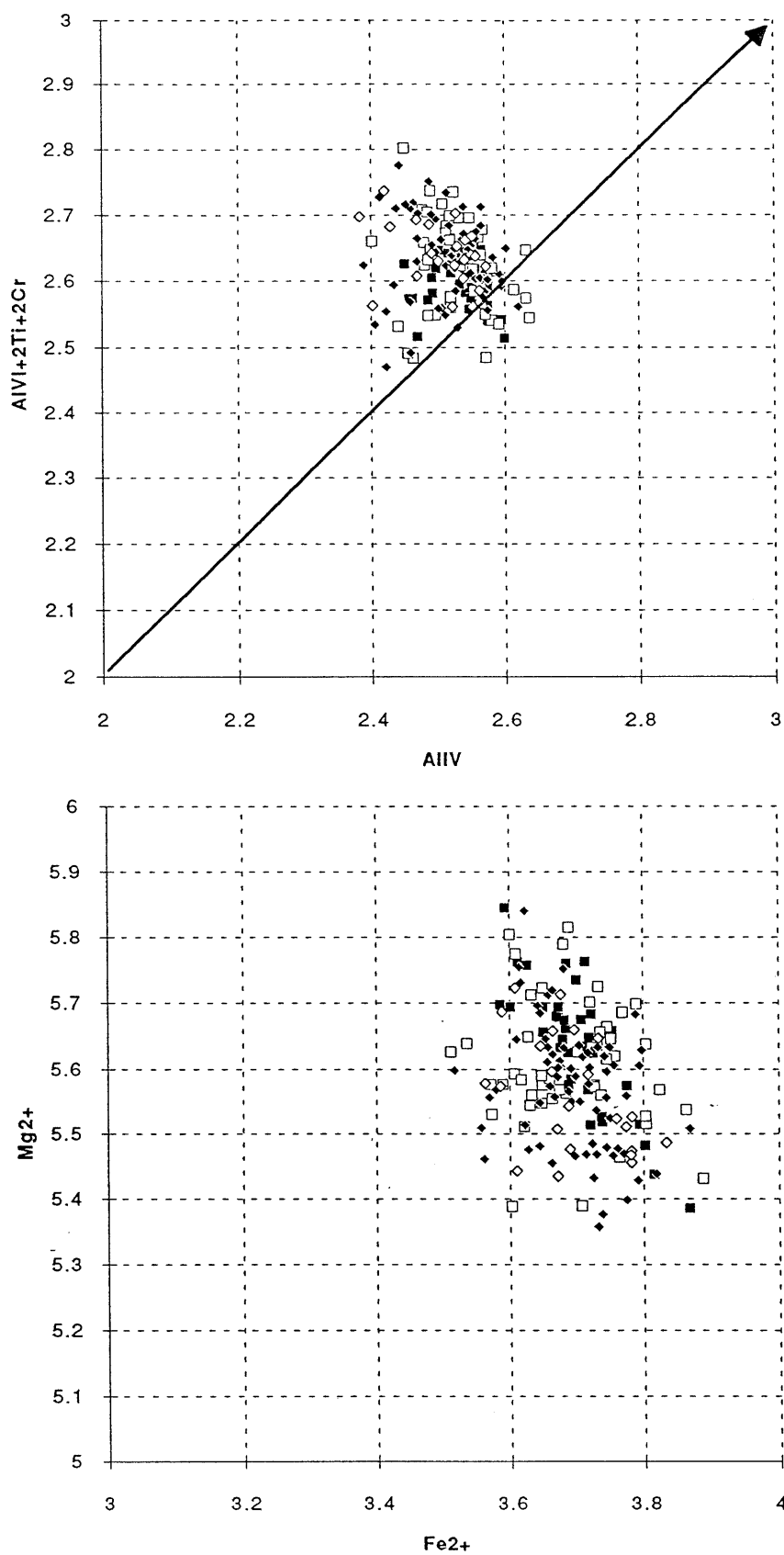


FIG. 9.26a,b. Le cloriti delle metabasiti di Recoaro (175 analisi): differenze compositive tra lamelle di clorite in microsystemi diversi: Chl-Mag (36 quadrati pieni), Chl-Ms (48 quadrati vuoti), Chl-Ab-Ep (68 rombi pieni), Chl-Qtz (23 rombi vuoti).

WEISS (1996), con formula schematica media: $X_{22}Mg_{47}Fe_{31}$ (FIG.9.25b).

D) Volendo studiare le caratteristiche compositive di queste cloriti con maggiore dettaglio, bisogna considerarle nel contesto dei 4 diversi siti microstrutturali in cui le lamelle analizzate sono situate:

- 1: "Chl-Mag" (36 analisi): si tratta di quattro lamelle di clorite postcinematica cristallizzate in ombre di pressione a contatto con magnetite;
- 2: "Chl-Ms" (48 analisi): si tratta di quattro lamelle di clorite sincinemica parallela a S_2 , a contatto con mica chiara in letti lepidoblastici;
- 3: "Chl-Ab-Ep" (68 analisi): si tratta di otto lamelle di clorite sincinemica parallela a S_2 ed a contatto con albite ed epidoto in letti lepidoblastici;
- 4: "Chl-Qtz" (23 analisi): si tratta di quattro lamelle di clorite sincinemica parallele a S_2 , a contatto con quarzo in letti granoblastici.

E) In TAB. 9.15 vengono riportati i dati chimici riassuntivi per le cloriti cristallizzate nei diversi siti. Da tali valori e dai diagrammi di FIG. 9.26a,b è evidente che, a parte la maggiore o minore dispersione dei punti, le lamelle cristallizzate nei letti granoblastici (sito 4: rombi vuoti) sono sostanzialmente simili in composizione a quelle cristallizzate nei letti lepidoblastici (siti 1, 2, 3: tutti gli altri simboli). Inoltre nell'ambito di queste ultime, non esiste alcuna sostanziale differenza compositiva tra lamelle sincinematiche (siti 1 e 2: quadrati pieni e vuoti) e lamelle postcinematiche (sito 3: rombi pieni), nè tra lamelle sincinematiche a contatto con fasi diverse (siti 1 e 2). Può tuttavia essere utile rimarcare che le cloriti a contatto con magnetite (quadrati pieni) hanno un valore medio di Fe+Mg più alto della media di tutte le altre cloriti. A prescindere da questo dettaglio tutte le cloriti di queste metabasiti risultano essere, quindi, simili fra loro dal punto di vista compositivo. Pertanto, le 173 analisi di tutte le 20 lamelle possono rientrare nel calcolo di un'unica media globale (colonna "dati globali" della TAB. 9.15).

F) Questa media globale, viste le considerazioni sopra fatte, può essere presa come rappresentativa del chimismo delle cloriti di questa regione per la zona a clorite-actinolite della facies degli scisti verdi. Tuttavia, ad essere più rigorosi, la composizione chimica media delle cloriti a contatto con la muscovite (quadrati vuoti) dovrebbe essere preferibile alla media globale, con riferimento al sistema KFMASH, mentre le cloriti a contatto con Albite+Epidoto dovrebbero essere ancora più rappresentative se si fa riferimento al sistema NaCaMFSH.

9.3.2.2 Gruppi di alta temperatura

LE CLORITI DELLE METABASITI DI RODENGO ($n=109$)

A) Per lo studio del chimismo delle cloriti delle metabasiti di Rodengo sono stati realizzati 109 punti analisi su 13 lamelle di clorite scelte nei campioni Ro1 e Ro2. Questi campioni si presentano molto simili per composizione e situazioni microstrutturali: pertanto le relative analisi delle cloriti sono state trattate globalmente.

B) La proiezione di tutti i 109 punti analisi nei diagrammi di FIG. 9.27a,b permette di visualizzare globalmente la composizione delle cloriti di tali metabasiti in funzione delle principali sostituzioni chimiche che hanno luogo nelle cloriti. La dispersione di punti, ben evidente in tali diagrammi, indica una elevata variabilità chimica nell'ambito delle cloriti cristallizzate nella stessa roccia. I punti rappresentativi di queste analisi si sgranano infatti sia lungo la freccia che rappresenta la sostituzione TK (FIG. 9.27a) sia nei diagrammi Mg vs. Fe ad indicare vari gradi di sostituzione FM (FIG. 9.27b).

C) Questa dispersione è evidente pure nei diagrammi di FIG. 9.28a,b. Pertanto un tentativo di classificazione viene fatto qui di seguito nella parte finale del punto E, dopo lo studio in dettaglio delle cloriti in funzione dei siti microstrutturali.

D) Le cloriti analizzate provengono da tre diversi siti microstrutturali:

1: "Chl-Hbl" (80 analisi): si tratta di otto lamelle dai colori di interferenza grigi, a contatto con cristalli di anfibolo il cui nucleo è tremolitico-actinolitico ed il bordo di composizione tipica dell'orneblenda;

2: "Chl₁/Bt" (20): si tratta di clorite proveniente da due diverse plaghe formatesi per alterazione di biotite; è caratterizzata da colori di interferenza anomali sui toni del marrone;

3: "Chl₂/Bt": si tratta di clorite proveniente da una plaga formatasi per alterazione di biotite; si caratterizza per il colore di interferenza anomalo sui toni del blu.

E) Dalla TAB. 9.16 e dalla FIG. 9.29a,b risulta evidente che sia la sostituzione TK che la sostituzione MgFe₁ aumentano nel seguente ordine: Chl₂/Bt (sito 3: rombi pieni) → Chl₁/Bt (sito 2: quadrati vuoti) → Chl-Hbl (sito 1: quadrati pieni), mentre la sostituzione AM cresce nell'ordine: Chl-Hbl (sito 1: quadrati pieni) → Chl₂ da Bt (sito 2: quadrati vuoti) → Chl₂ da Bt (sito 3: rombi pieni).

Dal punto di vista classificativo le cloriti delle metabasiti di Rodengo possono ora essere riferite a:

- i) clinoclori ferriferi secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) ripidoliti (siti 1 e 2) o picnocloriti (sito 3) secondo il diagramma classificativo di HEY

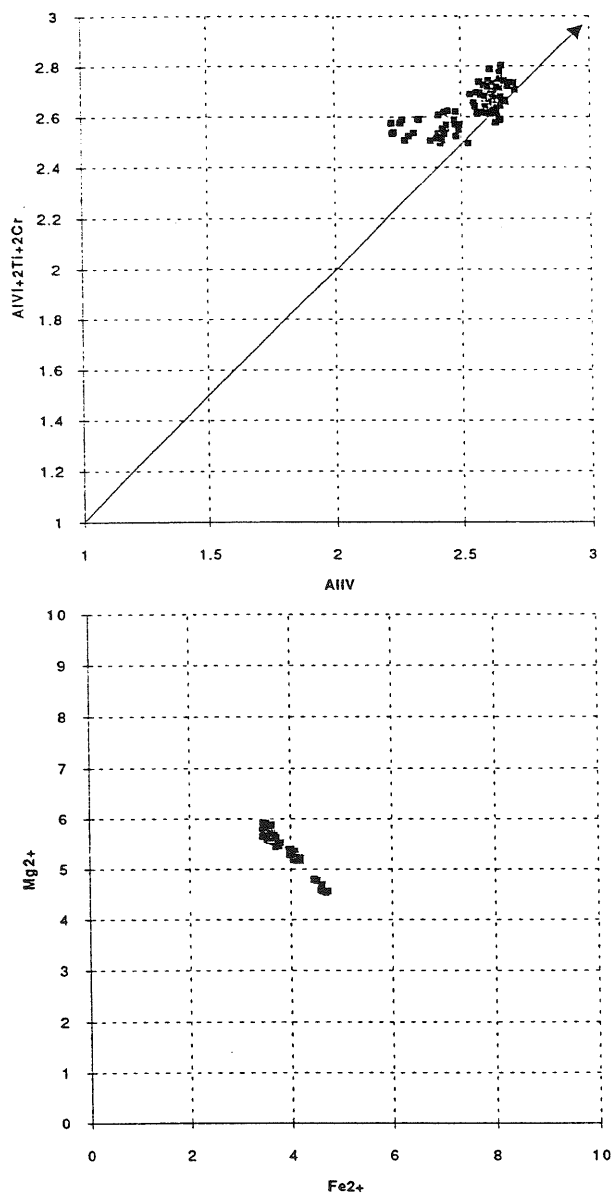


FIG. 9.27a,b. Le cloriti delle metabasiti di Rodengo (109 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metabasiti.

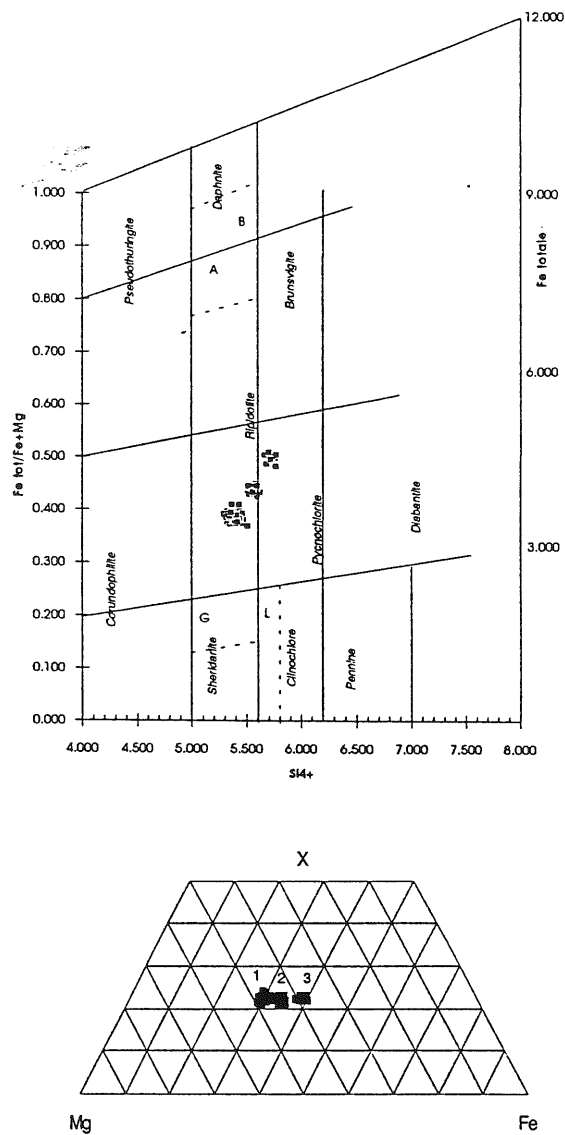


FIG. 9.28a,b. Le cloriti delle metabasiti di Rodengo (109 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996) con indicazione dei siti 1, 2, 3.

TABELLA 9.16. Le cloriti delle metabasiti di Rodengo (109 analisi): statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi.

SITO	->	1: Chl-Hbl		2: Chl r1/Bt		3: Chl r2/Bt	
		media (80)	dev.st.	media (20)	dev.st.	media (9)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
K ₂ O		0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO		18.55	0.42	17.07	0.29	14.63	0.30
FeO		20.72	0.42	23.57	0.33	25.93	0.44
Al ₂ O ₃		21.63	0.33	20.32	0.26	19.32	0.37
CaO		0.02	0.02	0.03	0.02	0.05	0.02
SiO ₂		26.07	0.26	26.87	0.22	26.94	0.35
MnO		0.20	0.04	0.22	0.06	0.48	0.03
TiO ₂		0.09	0.02	0.04	0.03	0.05	0.04
Cr ₂ O ₃		0.04	0.03	0.07	0.04	0.05	0.04
Totale		87.32	0.73	88.22	0.29	87.47	0.42
Si+4		5.377	0.038	5.565	0.030	5.708	0.064
Al ^{IV}		2.623	0.038	2.435	0.030	2.292	0.064
tot ^{IV}		8.000		8.000		8.000	
Al ^{VI}		2.636	0.050	2.523	0.041	2.533	0.038
Cr+3		0.007	0.005	0.011	0.006	0.009	0.006
Fe+2		3.574	0.073	4.083	0.068	4.595	0.073
Mn+2		0.035	0.006	0.039	0.012	0.085	0.006
Mg+2		5.703	0.102	5.271	0.073	4.622	0.094
Ti+4		0.014	0.003	0.007	0.005	0.009	0.007
tot ^{VI}		11.969		11.933		11.852	
K+1		0.003	0.005	0.002	0.005	0.001	0.003
Na+1		0.002	0.004	0.005	0.004	0.004	0.005
Ca+2		0.005	0.004	0.007	0.004	0.012	0.003
Totale		19.979		19.948		19.869	
Altot		5.259	0.073	4.959	0.059	4.824	0.092
Al ^{VI} +2Ti+Cr		2.671	0.052	2.547	0.038	2.559	0.036
Fe/Fe+Mg		0.385	0.008	0.436	0.007	0.499	0.009

TABELLA 9.18. Le cloriti delle metabasiti di Dosso Caldo delle Felci: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nei campioni di anfibolite a grana grossa VD61, VD62.

SITO	->	1: Chl-Hbl		2: Chl-Pl		3: Chl ps.		4: Chl r	
		media (31)	dev.st.	media (22)	dev.st.	media (20)	dev.st.	media (8)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
K ₂ O		0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01
MgO		20.05	0.23	17.10	0.22	19.18	0.25	14.30	0.18
FeO		18.94	0.23	23.45	0.46	20.78	0.37	26.32	0.59
Al ₂ O ₃		20.74	0.28	19.07	0.42	18.11	0.29	18.85	0.22
CaO		0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.02	0.04	0.01
SiO ₂		26.80	0.23	27.19	0.24	28.26	0.20	26.82	0.27
MnO		0.17	0.03	0.23	0.08	0.35	0.17	0.68	0.11
TiO ₂		0.07	0.02	0.04	0.03	0.01	0.01	0.04	0.02
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
Totale		86.83	0.50	87.15	0.56	86.76	0.47	87.10	0.36
Si+4		5.505	0.038	5.703	0.053	5.865	0.030	5.732	0.041
AlIV		2.495	0.038	2.297	0.053	2.135	0.030	2.268	0.041
totIV		8.000		8.000		8.000		8.000	
AlVI		2.526	0.032	2.416	0.051	2.296	0.058	2.480	0.054
Cr+3		0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.004
Fe+2		3.254	0.040	4.112	0.073	3.608	0.065	4.704	0.113
Mn+2		0.030	0.006	0.041	0.015	0.061	0.029	0.123	0.019
Mg+2		6.141	0.054	5.345	0.070	5.936	0.062	4.555	0.052
Ti+4		0.011	0.003	0.007	0.004	0.001	0.002	0.006	0.004
totVI		11.965		11.925		11.906		11.873	
K+1		0.001	0.002	0.003	0.008	0.002	0.002	0.005	0.004
Na+1		0.002	0.005	0.001	0.004	0.003	0.005	0.003	0.005
Ca+2		0.006	0.005	0.005	0.004	0.008	0.005	0.009	0.003
Totale		19.974		19.934		19.918		19.889	
Altot		5.022	0.057	4.713	0.092	4.431	0.067	4.748	0.053
AlVI+2Ti+Cr		2.550	0.033	2.433	0.057	2.303	0.058	2.497	0.057
Fe/Fe+Mg		0.346	0.004	0.435	0.006	0.378	0.005	0.508	0.008

analisi. Le lamelle scelte sono cristallizzate tutte nel sito microstrutturale (microsistema) "Chl-Hbl" : si tratta di clorite parallela alla scistosità ed a contatto con orneblenda. La TAB. 9.17 riporta i parametri statistici relativi alle analisi chimiche di queste cloriti delle anfiboliti a grana minuta.

D₂, E₂) Nei campioni VD61 e VD62 sono invece state studiate complessivamente otto lamelle di clorite, per un totale di 81 punti analisi. I siti microstrutturali considerati sono:

- 1: "Chl-Hbl" (31 analisi): si tratta di tre lamelle di clorite cristallizzate a contatto con anfibolo e caratterizzate da colori d'interferenza grigi; gli anfiboli hanno un nucleo tremolitico-actinolitico ed una periferia con la composizione tipica dell'orneblenda;
- 2: "Chl-Pl" (22 analisi): si tratta di due lamelle cristallizzate a contatto con plagioclasio, caratterizzate da colori di interferenza sui toni anomali del marrone e dalla presenza di numerosi inclusi di titanite.
- 3: "Chl_{ps}" (20 analisi): si tratta di due lamelle di clorite caratterizzate da colori di interferenza anomali marrone-grigio con microinclusioni, probabilmente, di titanite sistematicamente localizzate lungo i piani di sfaldatura, verosimilmente pseudomorfe su anfibolo o biotite.
- 4: "Chl_r" (8 analisi): si tratta di una unica lamella di clorite caratterizzata da colori d'interferenza anomali sui toni del blu probabilmente di natura retrograda.

La TAB. 9.18 riporta le analisi di cloriti mediate per ciascun sito microstrutturale. Nei diagrammi di FIG. 9.32a,b è evidente che le cloriti a contatto con orneblenda (campione VD68, triangoli pieni e campioni VD61 e VD62, quadrati pieni), sono le più ricche in Al^{IV}, Al^{VI}+2Ti+Cr (sostituzione TK) e Mg (sostituzione FM). A loro volta le cloriti del campione VD68 (triangoli pieni) risultano le più ricche in assoluto in tali parametri. Le cloriti a contatto con plagioclasio (sito 2: quadrati vuoti) dei campioni VD61 e VD62 presentano invece il minor grado di sostituzione TK, risultando però più ricca in Mg delle cloriti dei siti 3 (rombi pieni) e 4 (rombi vuoti). Le cloriti dei siti 3 e 4, a loro volta presentano una sostituzione TK intermedia rispetto alle cloriti dei siti 1 e 2, e risultano inoltre le più ricche in ferro. Inoltre la clorite del sito 4 (rombi vuoti) presenta la maggiore entità di sostituzione AM ed il più alto contenuto in Fe.

Per quanto riguarda la classificazione, queste cloriti vanno classificate come:

- i) clinoclori ferriferi secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980) le cloriti del campione VD68 e quelle dei siti 1, 2, 3 nei campioni VD61 e VD62; chamositi magnesifere le cloriti del sito 4 nei campioni VD61 e VD62;

TABELLA 9.17. Le cloriti delle metabasiti di Dosso Caldo delle Felci : statistiche dei contenuti chimici di cloriti nel campione di anfibolite a grana minuta VD68.

SITO	->	Chl-Hbl	
		media (30)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01
K ₂ O		0.01	0.01
MgO		20.83	0.32
FeO		17.61	0.41
Al ₂ O ₃		21.19	0.31
CaO		0.03	0.02
SiO ₂		26.48	0.26
MnO		0.20	0.04
TiO ₂		0.06	0.02
Cr ₂ O ₃		0.39	0.12
Totale		86.80	0.42
Si+4		5.413	0.055
AlIV		2.587	0.055
totIV		8.000	
AlVI		2.518	0.047
Cr+3		0.063	0.020
Fe+2		3.011	0.069
Mn+2		0.035	0.008
Mg+2		6.348	0.089
Ti+4		0.010	0.003
totVI		11.984	
K+1		0.001	0.003
Na+1		0.003	0.005
Ca+2		0.007	0.005
Totale		19.996	
Altot		5.105	0.069
AlVI+2Ti+Cr		2.600	0.052
Fe/Fe+Mg		0.322	0.007

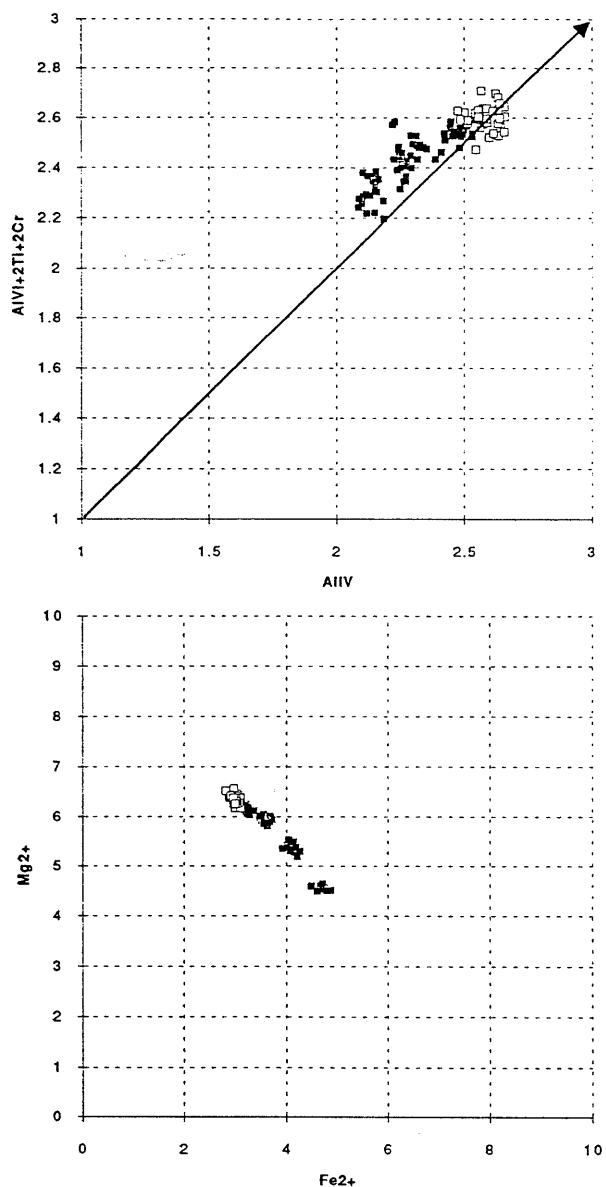


FIG. 9.30a,b. Le cloriti delle metabasiti di Dosso Caldo delle Felci (111 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metabasiti. Campioni: VD61, VD62 (quadrati pieni), VD68 (quadrati vuoti).

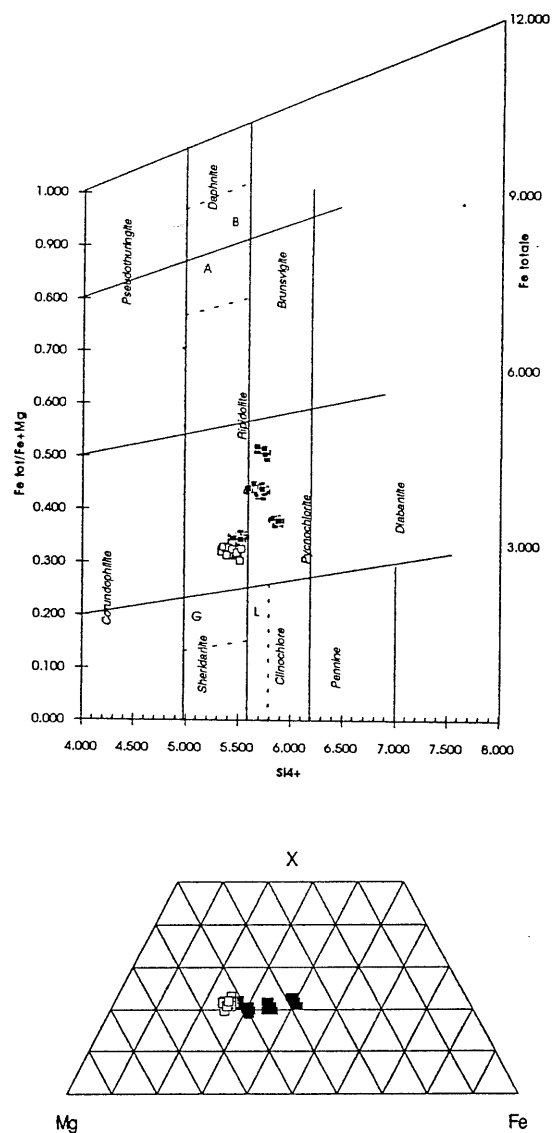


FIG. 9.31a,b. Le cloriti delle metabasiti di Dosso Caldo delle Felci (111 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996). Simboli come in FIG. 9.30.

(1954) (FIG. 9.28);

iii) Mg-cloriti tri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996), con le seguenti formule schematiche: $X_{22}Mg_{48}Fe_{30}$ (sito 1), $X_{22}Mg_{44}Fe_{34}$ (sito 2), $X_{22}Mg_{39}Fe_{39}$ (sito 3).

F) Riassumendo, dall'osservazione del chimismo delle cloriti nelle metabasiti di Rodengo, risulta che le cloriti più tschermakitiche risultano essere anche le più ricche in Mg e le più povere in vacanze. Le cloriti meno tschermakitiche sono invece le più ricche in ferro ed hanno il maggiore contenuto di vacanze. In base a considerazioni petrografiche solo i dati chimici riferibili alle cloriti del sito 1 (Chl-Hbl: quadrati pieni) vengono considerati per questa regione rappresentativi del chimismo della clorite cristallizzata in condizioni termiche corrispondenti alla zona ad albite-orneblenda della facies degli scisti verdi. Le altre cloriti, infatti, vanno collegati a condizioni di più bassa temperatura, e le differenze compositive reciproche che esse mostrano possono essere dovute a vincoli topochimici, trattandosi di pseudomorfi.

LE CLORITI DELLE METABASITI DI DOSSO CALDO DELLE FELCI (n=111)

A) Sono state realizzate 111 analisi di clorite su 11 lamelle selezionate nei campioni VD61, VD62, VD68. Questi campioni, sulla base di caratteristiche petrografiche, sono stati suddivisi in due diversi sottogruppi: a) anfiboliti a grana minuta (VD68), b) anfiboliti a grana grossa (VD61, VD62). Le analisi delle cloriti dei campioni VD61 e VD62 vengono trattate insieme, data la similarità di composizione e di situazioni microstrutturali di queste rocce.

B) L'insieme delle analisi relative a tutti e tre i campioni sono state proiettate nei diagrammi di FIG. 9.30a,b. Questi mostrano come, ad una piccola dispersione dei punti rappresentativi delle cloriti dell'anfibolite a grana minuta (campione VD68: quadrati vuoti) si contrappone una pronunciata variabilità delle cloriti delle anfiboliti a grana grossa (campioni VD61, VD62: quadrati pieni) per tutti i parametri chimici considerati. Inoltre, le prime (campione VD68) presentano un maggiore grado di sostituzione TK e $MgFe_{-1}$ rispetto alle seconde (campioni VD61 e VD68).

C) Anche la proiezione delle analisi nei diagrammi di FIG. 9.31a,b mostra un'ampia dispersione di punti, che suggerisce uno studio più approfondito del chimismo di queste cloriti. La classificazione pertanto viene presentata più avanti dopo l'analisi delle cloriti in funzione dei diversi siti microstrutturali qui di seguito esposta.

D₁, E₁) Nel campione VD68 sono state studiate tre lamelle per un totale di 30 punti

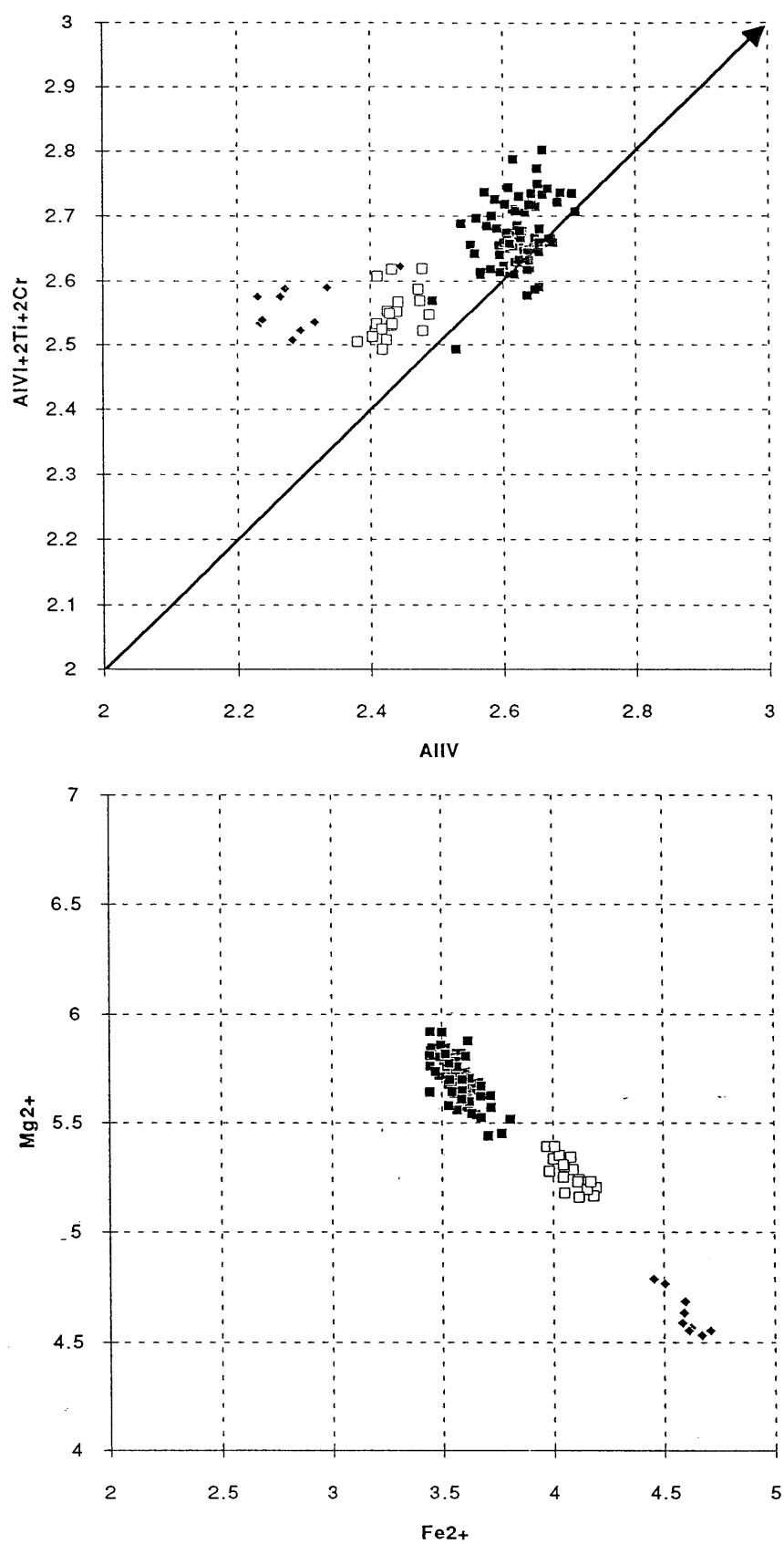


FIG. 9.29a,b. Le cloriti delle metabasiti di Rodengo (109 analisi): differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl-Hbl (80 quadrati pieni), Chl r1/Bt (20 quadrati vuoti), Chl r2/Bt (9 rombi pieni).

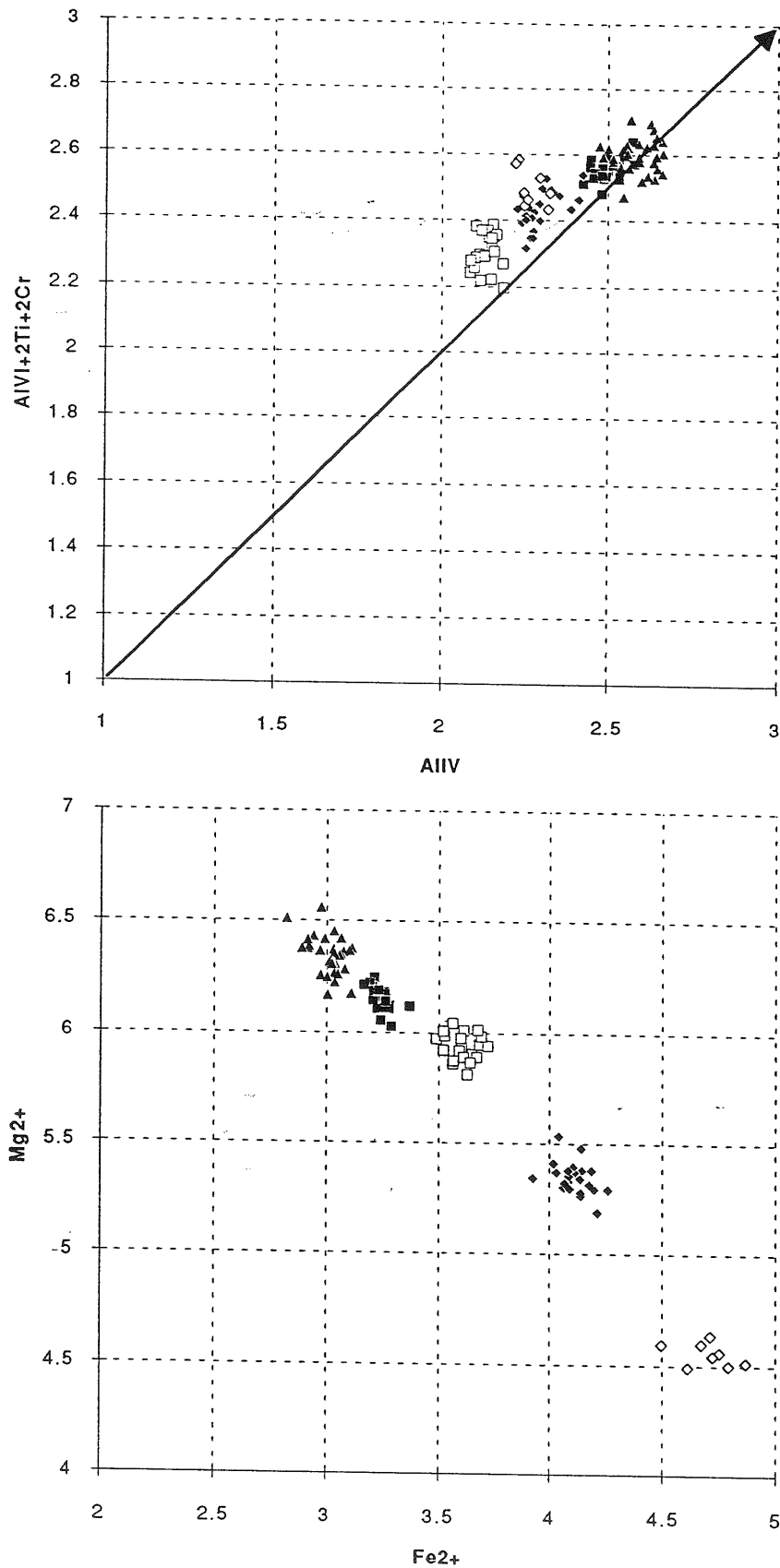


FIG. 9.32a,b. Le cloriti delle metabasiti di Dosso Caldo delle Felci (111 analisi): differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi. Campioni VD61, VD62: Chl-Hbl (31 quadrati pieni), Chl-Pl (22 quadrati vuoti), Chl ps. (20 rombi pieni), Chl r (8 rombi vuoti). Campione VD68: Chl-Hbl (30 triangoli pieni).

ii) ripidoliti (FIG.9.31a) secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) le cloriti del campione VD68 e quelle del sito 1 dei campioni VD61, VD62; picnocloriti le cloriti dei siti 2, 3, 4 ;

iii) Mg-cloriti tri-triottaedriche (FIG. 9.31b) secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996), con le seguenti formule schematiche medie:

$X_{21}Mg_{53}Fe_{25}$ (campione VD68);

$X_{21}Mg_{51}Fe_{28}$ (campione VD61 eVD62 - sito1);

$X_{21}Mg_{45}Fe_{34}$ (campione VD61 eVD62 - sito2);

$X_{20}Mg_{49}Fe_{31}$ (campione VD61 eVD62 - sito3);

Fe-clorite tri-triottaedrica (FIG.9.31b) con formula schematica media $X_{22}Mg_{38}Fe_{40}$ (campione VD61 eVD62 - sito4).

F) Solo i dati chimici delle cloriti a contatto con orneblenda (triangoli pieni e quadrati pieni) vengono qui considerati rappresentativi del chimismo delle cloriti cristallizzate in metabasiti nella zona ad albite-orneblenda della facies degli scisti verdi. Tuttavia v'è rimarcata la differenza compositiva fra le cloriti delle anfiboliti a grana grossa e quella delle cloriti delle anfiboliti a grana minuta, che risulta avere una maggiore entità delle fasi TK ed un più alto rapporto Mg/Fe. Tenendo anche conto, non solo delle diverse grane della roccia ma anche delle congruentemente diverse dimensioni delle lamelle analizzate, si può presumere un maggiore accostamento alle condizioni di equilibrio nell'anfibolite a grana minuta. D'altra parte, le cloriti a contatto con plagioclasio (quadrati vuoti) riflettono anch'esse le stesse condizioni termiche, ma in microsistemi più acidi, che possono considerarsi intermedi verso composizioni più pelitiche.

Tutte le altre cloriti vanno riferite a temperature più basse e le reciproche differenze dovrebbero essere imputabili a vincoli topochimici.

9.3.3. Cloriti di metarioliti.

9.3.3.1 Gruppo di bassa temperatura

LE CLORITI DELLE METARIALITI DEL COMELICO (n=122)

A) Per lo studio del chimismo delle cloriti nelle metarioliti del Comelico sono state realizzate complessivamente 112 analisi su 18 lamelle di clorite selezionate nei campioni CM034, CM085, CM101.

B) Dai diagrammi di FIG. 9.33a,b è possibile avere una visione d'insieme dell'area compositiva occupata dalle cloriti di queste metarioliti. La dispersione dei punti rappresentativi dei tre campioni è abbastanza contenuta se si considera che le cloriti in

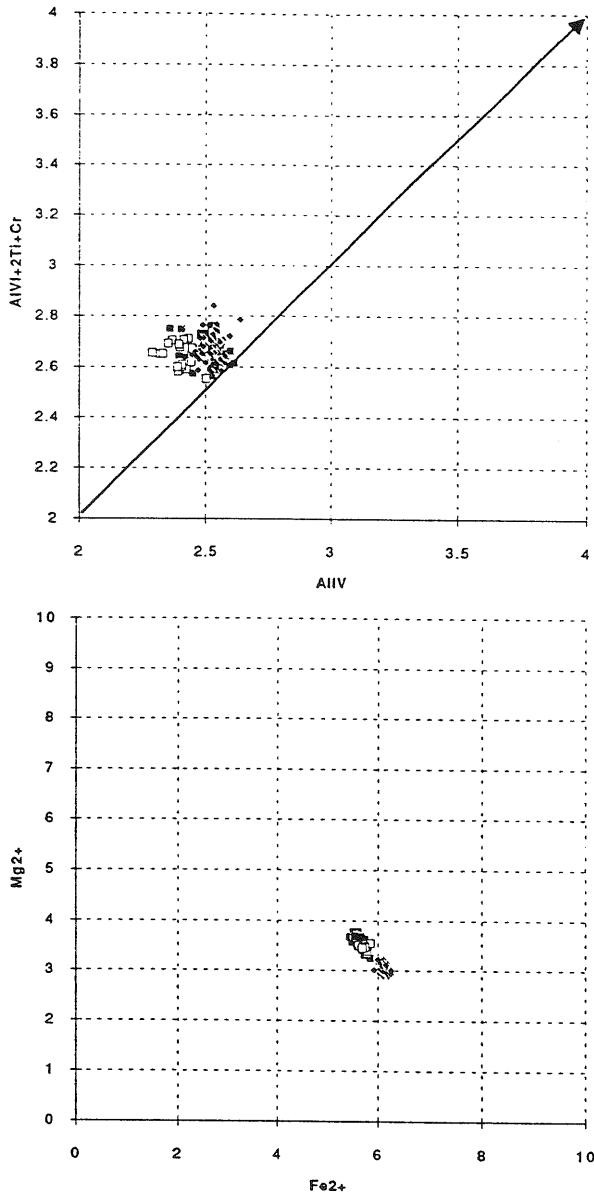


FIG. 9.33a,b. Le cloriti delle metaroliti del Comelico (122 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metaroliti. Campioni: CM034 (quadrati pieni), CM085 (quadrati vuoti), CM101 (rombi pieni).

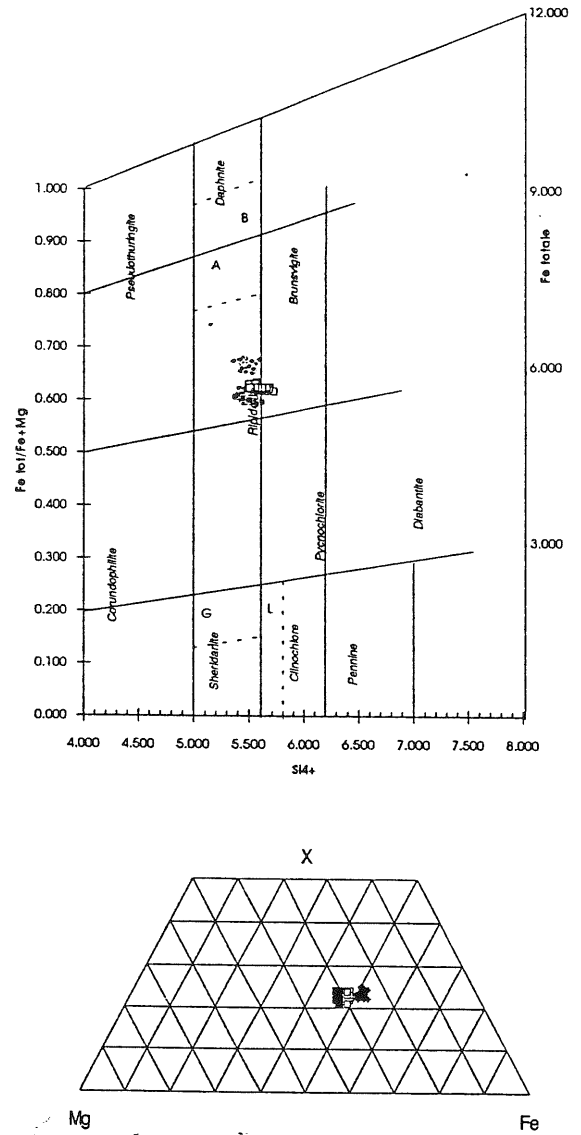


FIG.9.34a,b. Le cloriti delle metaroliti del Comelico (122 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996). Simboli come in FIG.9.33.

esame appartengono a rocce che hanno subito un metamorfismo di basso grado. Tale dispersione risulta ancora più contenuta nell'ambito di ogni singolo campione. Le cloriti del campione CM085 (quadrati vuoti) si differenziano da quelle dei campioni CM101 e CM034 (quadrati e rombi pieni) in quanto presentano una sostituzione TK meno spinta, mentre i punti rappresentativi di tale composizione tendono a concentrarsi verso valori più elevati di AM dell'area di distribuzione globale. Il contenuto in Fe^{2+} e Mg^{2+} nelle cloriti del campione CM085 (quadrati vuoti), è intermedio rispetto a quello dei campioni CM101 (cloriti un po' più ferrihere) e CM034 (cloriti un po' più magnesifere).

C) Le cloriti delle metarioliti del Comelico possono essere classificate come:

- i) chamositi magnesifere secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) ripidoliti per la maggior parte delle analisi, ma alcuni punti rappresentativi del campione CM085 cadono nel campo delle brunsvigiti (FIG. 9.34a);
- iii) Fe-cloriti (FIG. 9.34b) tri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) con formula schematica media: $\text{X}_{23}\text{Mg}_{30}\text{Fe}_{47}$ (per le cloriti del campione CM034); $\text{X}_{23}\text{Mg}_{29}\text{Fe}_{48}$ (per le cloriti del campione CM085); $\text{X}_{23}\text{Mg}_{26}\text{Fe}_{51}$ (per le cloriti del campione CM101).

D₁, E₁) Nel campione CM034 sono state considerate 7 lamelle di clorite, tutte cristallizzate nel sito "Chl-Ms-Qtz" (57 analisi): si tratta di clorite sincinemica parallela a S_1 , a contatto con muscovite e quarzo.

La TAB. 9.19 riporta i dati chimici riassuntivi per le cloriti di questo campione.

D₂, E₂) Nel campione CM085 sono state considerate 6 lamelle di clorite cristallizzate tutte nel sito "Chl-Ms-Ab-Qtz" (26 analisi): si tratta di clorite sincinemica parallela a S_1 , a contatto con muscovite+albite+quarzo.

Nella TAB. 9.20 vengono riportati i dati chimici riassuntivi delle cloriti di questo campione.

D₃, E₃) Nel campione 101 sono state effettuate complessivamente 39 analisi su 5 lamelle di clorite. La clorite analizzata è cristallizzata nei due seguenti siti microstrutturali o microsistemi:

- 1: "Chl-Ms" (29 analisi): si tratta di tre lamelle di clorite sincinemica parallele a S_1 , a contatto con muscovite + quarzo;
- 2: "Chl da Bt" (10 analisi): si tratta di due lamelle provenienti da aggregati cloritici formatesi per trasformazione di relitti magmatici di biotite.

La TAB. 9.21 ed i diagrammi di FIG. 9.35a,b permettono di confrontare il chimismo delle

TABELLA 9.19. Le cloriti delle metarioliti del Comelico: statistiche dei contenuti chimici delle cloriti nel campione CM034.

SITO	->	1: Chl-Ms-Qtz
		media (57) dev.st.
Na ₂ O		0.01 0.02
K ₂ O		0.03 0.03
MgO		11.30 0.22
FeO		30.95 0.40
Al ₂ O ₃		20.22 0.26
CaO		0.01 0.01
SiO ₂		25.35 0.27
MnO		0.22 0.04
TiO ₂		0.06 0.02
Cr ₂ O ₃		0.02 0.02
Totale		88.16 0.47
Si+4		5.481 0.043
AlIV		2.519 0.043
totIV		8.000
AlVI		2.634 0.041
Cr+3		0.003 0.004
Fe+2		5.595 0.073
Mn+2		0.040 0.007
Mg+2		3.641 0.067
Ti+4		0.010 0.003
totVI		11.923
K+1		0.007 0.008
Na+1		0.004 0.006
Ca+2		0.003 0.003
Totale		19.937
Altot		5.154 0.059
AlVI+2Ti+Cr		2.657 0.041
Fe/Fe+Mg		0.606 0.007

TABELLA 9.20. Le cloriti delle metarioliti del Comelico: statistiche dei contenuti chimici delle cloriti nel campione CM085.

SITO	->	Chl -Ms-Ab-Qtz
		media (26) dev.st.
Na ₂ O		0.01 0.02
K ₂ O		0.01 0.01
MgO		10.74 0.17
FeO		31.55 0.44
Al ₂ O ₃		19.68 0.28
CaO		0.02 0.02
SiO ₂		25.71 0.33
MnO		0.15 0.03
TiO ₂		0.05 0.02
Cr ₂ O ₃		0.02 0.02
Totale		87.95 0.71
Si+4		5.586 0.057
AlIV		2.414 0.057
totIV		8.000
AlVI		2.625 0.044
Cr+3		0.003 0.004
Fe+2		5.732 0.056
Mn+2		0.027 0.005
Mg+2		3.479 0.051
Ti+4		0.009 0.003
totVI		11.875
K+1		0.003 0.003
Na+1		0.004 0.007
Ca+2		0.005 0.004
Totale		19.888
Altot		5.039 0.068
AlVI+2Ti+Cr		2.646 0.044
Fe/Fe+Mg		0.622 0.004

TABELLA 9.21. Le cloriti delle metarioliti del Comelico: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione CM101 .

SITO	->	1: Chl-Ms		2: Chl da Bt	
		media (29)	dev.st.	media (10)	dev.st.
Na2O		0.01	0.02	0.02	0.02
K2O		0.02	0.02	0.01	0.01
MgO		9.31	0.30	9.36	0.24
FeO		33.07	0.44	33.59	0.29
Al2O3		20.07	0.32	19.79	0.20
CaO		0.05	0.06	0.01	0.01
SiO2		24.88	0.30	24.93	0.22
MnO		0.35	0.05	0.33	0.07
TiO2		0.03	0.02	0.09	0.04
Cr2O3		0.02	0.02	0.03	0.02
Totale		87.81	0.70	88.14	0.45
Si+4		5.477	0.051	5.480	0.033
AlIV		2.523	0.051	2.520	0.033
totIV		8.000		8.000	
AlVI		2.683	0.055	2.609	0.034
Cr+3		0.003	0.003	0.005	0.004
Fe+2		6.087	0.060	6.175	0.057
Mn+2		0.065	0.010	0.061	0.012
Mg+2		3.054	0.096	3.068	0.067
Ti+4		0.005	0.003	0.015	0.006
totVI		11.896		11.932	
K+1		0.005	0.005	0.003	0.003
Na+1		0.005	0.008	0.007	0.009
Ca+2		0.012	0.013	0.002	0.002
Totale		-19.919		19.943	
Altot		5.206	0.080	5.129	0.056
AlVI+2Ti+Cr		2.696	0.057	2.643	0.043
Fe/Fe+Mg		0.666	0.008	0.668	0.007

TABELLA 9.21 bis. Statistiche dei contenuti chimici di tutte le cloriti delle metarioliti del Comelico.

SITO	->	dati globali	
		media(122)	dev.st.
Na2O		0.01	0.02
K2O		0.02	0.02
MgO		10.56	0.90
FeO		31.78	1.08
Al2O3		20.04	0.35
CaO		0.02	0.03
SiO2		25.29	0.41
MnO		0.24	0.09
TiO2		0.05	0.03
Cr2O3		0.02	0.02
Totale		88.03	0.60
Si+4		5.502	0.064
AlIV		2.498	0.064
totIV		8.000	
AlVI		2.641	0.050
Cr+3		0.003	0.004
Fe+2		5.786	0.236
Mn+2		0.045	0.016
Mg+2		3.423	0.266
Ti+4		0.009	0.004
totVI		11.907	
K+1		0.005	0.006
Na+1		0.005	0.007
Ca+2		0.005	0.008
Totale		19.923	
Altot		5.139	0.087
AlVI+2Ti+Cr		2.662	0.049
Fe/Fe+Mg		0.628	0.027

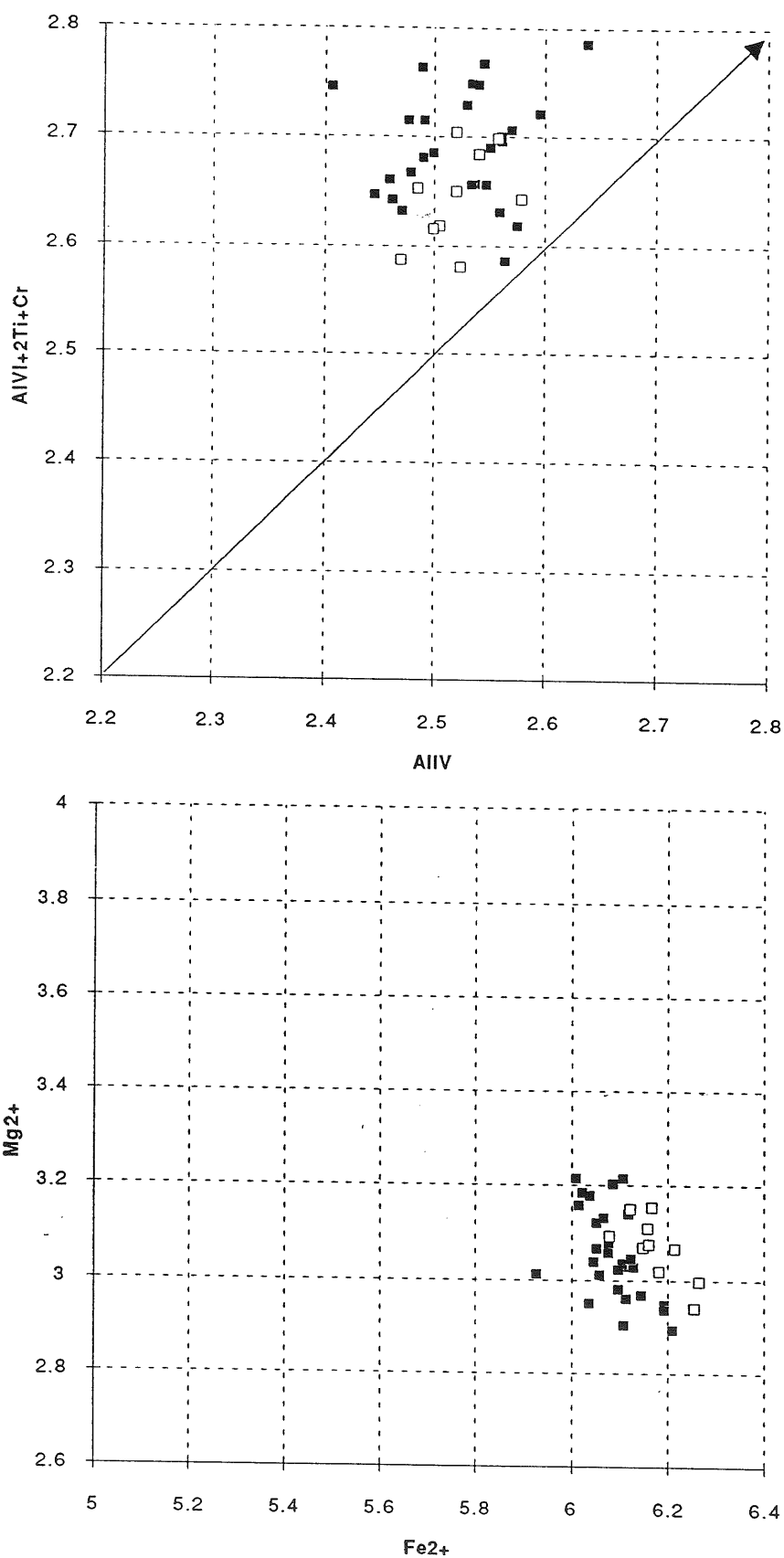


FIG. 9.35a,b. Le cloriti delle metarioliti del Comelico: nel campione CM101, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsystemi diversi: Chl-Ms (29 quadrati pieni), Chl da Bt (10 quadrati vuoti).

cloriti cristallizzate nei due diversi siti. Tra le cloriti sincinematiche (sito 1: quadrati pieni) e quelle da biotite (sito 2: quadrati vuoti) si nota una poco pronunciata differenza compositiva. In particolar modo le cloriti del sito 1 risultano più ricche in $Al^{VI}+2Ti+Cr$ e più povere di Fe^{2+} di quelle del sito 2. In termini di sostituzioni chimiche si può dire che le cloriti sincinematiche presentano rispetto alle cloriti da biotite, lo stesso grado di sostituzione TK, una maggiore sostituzione AM, ed una maggiore sostituzione $MgFe_{-1}$.

F) Riassumendo, nelle cloriti delle metarioliti del Comelico si riconoscono fondamentalmente due tipologie:

- 1) clorite blastica cristallizzata in lamelline parallele alla S_1 (campioni CM034, CM085 e sito 1 del campione CM101);
- 2) clorite formatasi per trasformazione di relitti di biotite (CM101 sito 2).

La 1) può considerarsi rappresentativa per questa regione del chimismo delle cloriti prograde di metarioliti cristallizzate in condizioni di temperatura corrispondenti alla zona a clorite della facies degli scisti verdi. Tuttavia la composizione chimica della clorite a spese della biotite ignea non si discosta di molto da quella della clorite blastica sincinematica se non per un contenuto lievemente minore di $Al^{VI}+2Ti+Cr$ e un contenuto lievemente maggiore di Fe^{2+} : ciò in accordo con la verosimile ipotesi che i due tipi di clorite si sono formati nelle stesse condizioni di temperatura. La relativa variabilità compositiva di tutte queste cloriti, che pure riflettono senza ombra di dubbio le condizioni T, P sopra indicate pone dei problemi per il calcolo delle medie globali, nel senso che tali medie sono affette da alti valori della deviazione standard (TAB. 9.21 bis). D'altra parte non esiste criterio per ridurre questo margine di incertezza, per altro prevedibile, trattandosi non solo di rocce di grado metamorfico basso ma anche di sistema chimico povero in Fe e Mg e dominato da feldspati: quindi la clorite non aveva alcuna possibilità di saturarsi rispetto a nessuna delle principali sostituzioni che la riguardano.

9.3.3.2 Gruppi di temperatura intermedia

LE CLORITI DELLE METARIOLITI DI LEVICO ($n=136$)

- A) Dall'analisi in microsonda si sono ottenuti complessivamente 136 punti analisi, su 14 lamelle di clorite dei campioni LV057, LV020, LV007.
- B) La dispersione dei punti rappresentativi nei diagrammi di FIG. 9.36a,b nell'ambito di ogni singolo campione è alquanto contenuta. Si nota invece una accentuata dispersione soprattutto lungo la freccia (sostituzione TK) nella FIG. 9.36a se si considerano

complessivamente tutte le analisi: infatti le cloriti del campione LV020 (quadrati vuoti) presentano una sostituzione TK più spinta delle cloriti dei campioni LV007 e LV057 (simboli pieni). Quanto alla sostituzione AM, le cloriti dei tre campioni cadono grossomodo nello stesso intervallo di variazione, anche se i punti dei campioni LV057 e soprattutto LV007 danno valori tendenzialmente più alti di tale sostituzione. Nel diagramma di FIG. 9.36b le cloriti dei tre campioni presentano una parziale sovrapposizione dei punti rappresentativi, anche se è possibile individuare crescenti contenuti di Mg nel seguente ordine: cloriti del campione LV057 (quadrati pieni) → cloriti del campione LV020 (quadrati vuoti) → cloriti del campione LV007 (rombi pieni).

C) Dal punto di vista classificativo le cloriti delle metarioliti di Levico si possono riferire a:

- i) chamositi magnesifere secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) in gran parte ripidoliti (FIG. 9.37a) secondo il diagramma classificativo di HEY (1954), anche se alcuni punti dei campioni LV057 e LV007 cadono nel campo delle brunsvingiti e picnocloriti;
- iii) Fe-cloriti (FIG. 9.37b) tri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) con formule schematiche medie $X_{23}Mg_{33}Fe_{44}$, $X_{24}Mg_{34}Fe_{42}$, $X_{24}Mg_{35}Fe_{41}$ rispettivamente per i campioni LV057, LV020, LV007.

Su ciascun campione è stata eseguita una analisi di dettaglio per evidenziare eventuali differenze compositive tra cloriti appartenenti a siti microstrutturali (microsistemi chimici) diversi.

D₁, E₁) Nel campione LV057 sono state analizzate 5 lamelle di clorite, per un totale di 50 punti analisi. I siti considerati sono:

- 1: "Chl-Ms" (20 analisi): si tratta di due lamelle sincinemetiche di clorite parallele a S₁ situate in letti lepidoblastici a contatto con muscovite;
 - 2: "Chl_T/Bt" (30 analisi): si tratta di tre lamelle di clorite cristallizzate perpendicolarmente a S₁ oppure in aggregati a strutture decussate; tali lamelle, che si trovano all'interno di letti granoblastici, presentano numerose inclusioni opache (biossidi di titanio o titanite).
- In TAB. 9.22 vengono riportati i parametri statistici (media e deviazione standard) relativi alle analisi chimiche delle cloriti dei due siti. I diagrammi di FIG. 9.38a,b ne evidenziano le differenze in termini di sostituzioni TK, AM, FM. Le cloriti sincinemetiche (sito 1: quadrati pieni) si differenziano nettamente dalle cloriti retrograde (sito 2: quadrati vuoti) per una maggiore componente tschermakitica, una tendenza verso minore sostituzione diottaedrica ed un minore contenuto di Ti⁴⁺. Nessuna

TABELLA 9.22. Le cloriti delle metarioliti di Levico:
statistiche dei contenuti chimici di cloriti di
vari microsistemi nel campione LV057.

SITO	->	1: Chl-Ms		2: Chl (r) da Bt	
		media (20)	dev.st.	media (30)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01	0.01	0.02
K ₂ O		0.03	0.03	0.02	0.01
MgO		12.35	0.42	12.41	0.30
FeO		29.15	0.59	28.95	0.33
Al ₂ O ₃		20.00	0.22	19.62	0.18
CaO		0.02	0.01	0.01	0.01
SiO ₂		25.61	0.23	26.09	0.22
MnO		0.19	0.07	0.15	0.05
TiO ₂		0.13	0.04	0.10	0.03
Cr ₂ O ₃		0.02	0.03	0.01	0.02
Totale		87.50	0.32	87.39	0.54
Si+4		5.525	0.029	5.623	0.029
AlIV		2.475	0.029	2.377	0.029
totIV		8.000		8.000	
AlVI		2.610	0.046	2.608	0.030
Cr+3		0.004	0.004	0.002	0.003
Fe+2		5.261	0.125	5.218	0.063
Mn+2		0.034	0.013	0.027	0.008
Mg+2		3.971	0.121	3.988	0.083
Ti+4		0.021	0.007	0.016	0.004
totVI		11.900		11.859	
K+1		0.008	0.007	0.005	0.004
Na+1		0.003	0.005	0.004	0.007
Ca+2		0.004	0.003	0.003	0.003
Totale		19.915		19.872	
Altot		5.085	0.060	4.984	0.039
AlVI+2Ti+Cr		2.656	0.044	2.643	0.032
Fe/Fe+Mg		0.570	0.013	0.567	0.008

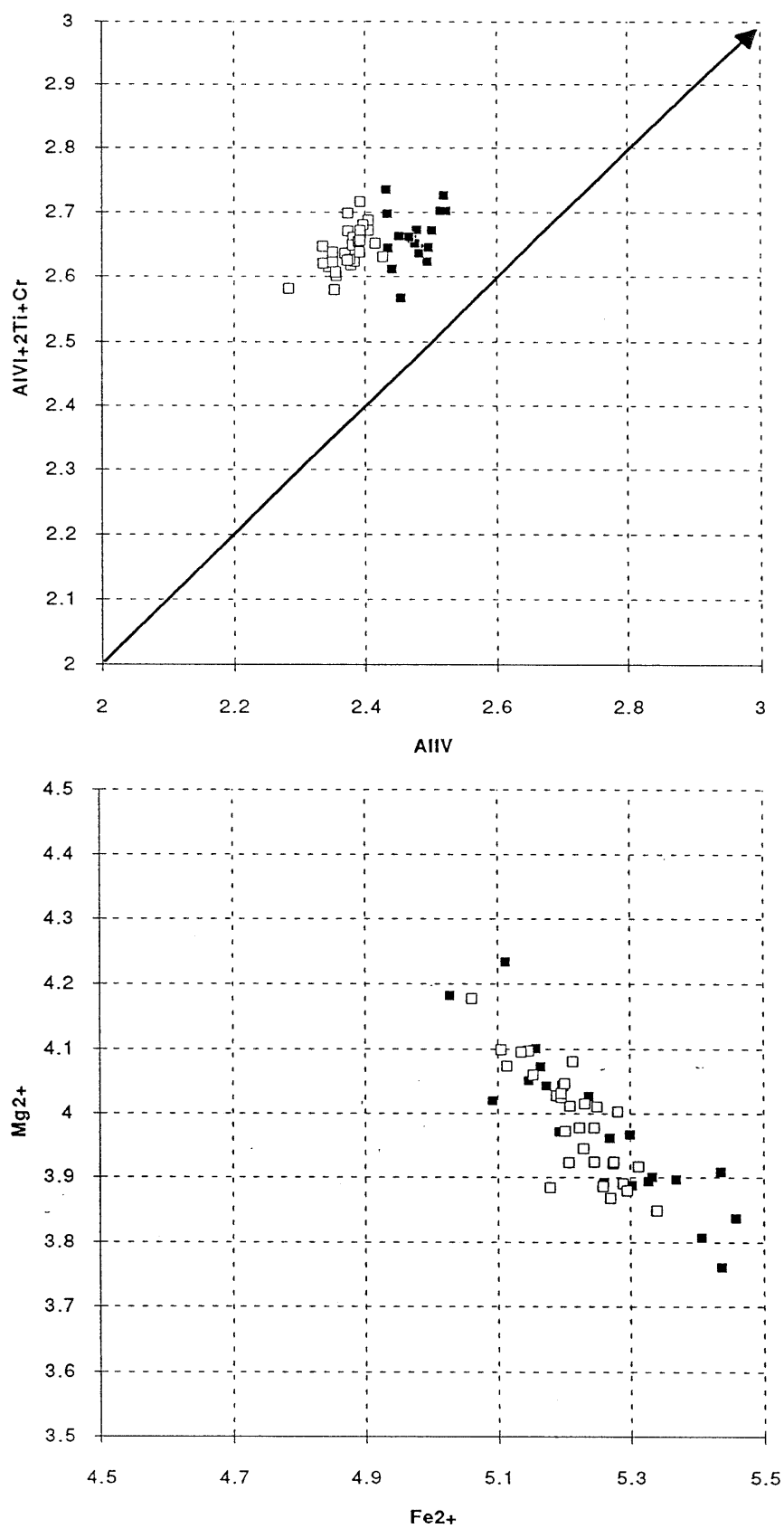


FIG. 9.38a,b. Le cloriti delle metarioliti di Levico: nel campione LV057, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl-Ms (20 quadrati pieni), Chl r/Bt (30 quadrati vuoti).

differenza sostanziale si nota invece nei contenuti di Fe e Mg, anche se le cloriti sincinematiche (quadrati pieni) mostrano una dispersione dei punti rappresentativi più accentuata.

D₂, E₂) Nel campione LV020 sono stati realizzati in totale 38 punti analisi su quattro lamelle di clorite. I siti microstrutturali considerati sono:

- 1: "Chl_{stat.}-Ms-Qtz" (28 analisi): si tratta di tre lamelle di clorite cristallizzate in archi poligonali lungo cerniere di pieghe di S₁;
- 2: "Chl_{sinc.}-Ms" (10 analisi): si tratta di una lamella di clorite sincinematica posta su una cerniera di piega a contatto con muscovite.

In TAB. 9.23 vengono riportati i dati chimici riassuntivi relativi alle cloriti dei due siti, mentre le singole analisi vengono proiettate nei diagrammi di FIG. 9.39a,b. Risulta subito evidente che le cloriti dei due siti si differenziano composittivamente soprattutto in termini di sostituzione TK. Infatti le cloriti statiche del sito 1 (quadrati pieni), si differenziano da quelle sincinematiche del sito 2 (quadrati vuoti) soprattutto per una più accentuata sostituzione TK. Va inoltre notato che alcune analisi delle seconde mostrano valori leggermente minori del rapporto Fe/Mg.

D₃, E₃) Nel campione LV007 sono state effettuate complessivamente 48 punti analisi su 5 lamelle di clorite. I siti microstrutturali considerati sono:

- 1: "Chl_r/Bt" (35 analisi): si tratta di tre lamelle di clorite in aggregati contenenti numerosi inclusi di biossido di Ti e titanite, formatesi probabilmente da alterazione retrograda di biotite;
- 2: "Chl-Qtz-Ab" (13 analisi): si tratta di due lamelle di clorite situate in livelli granoblastici a contatto con quarzo + albite.

La TAB. 9.24 riporta le analisi mediate per ciascun sito microstrutturale. Nei diagrammi di FIG. 9.40a,b invece sono state proiettate tutte le singole analisi. Non si notano grandi differenze composittive tra le cloriti dei due siti eccetto che per i valori di $Al^{VI}+2Ti+Cr$ e Ti^{4+} , (sostituzione AM) che mostrano una tendenza verso valori maggiori nella clorite del sito 1 (Chl_r/Bt: quadrati pieni). Per le cloriti di entrambi i siti, inoltre, è evidente che la dispersione dei punti rappresentativi dei contenuti in Al tetraedrico ed Al ottaedrico è alquanto contenuta (FIG. 9.40a), mentre presentano una pronunciata dispersione i contenuti di Fe e Mg (FIG. 9.40b).

F) Riassumendo quanto finora detto, le cloriti delle metarioliti di Levico sono ripartibili in tre categorie:

- 1) clorite cristallizzata sincinematicamente lungo la scistosità (LV057, LV020);

TABELLA 9.23. Le cloriti delle metarioliti di Levico: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsystemi nel campione LV020.

SITO	->	1: Chl stat.-Ms-Qtz		2: Chl sinc.-Ms		dati globali 1+2	
		media (28)	dev.st.	media (10)	dev.st.	media (38)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
K ₂ O		0.02	0.02	0.05	0.03	0.03	0.03
MgO		12.46	0.16	12.81	0.21	12.55	0.23
FeO		28.09	0.35	27.87	0.32	28.03	0.35
Al ₂ O ₃		21.49	0.20	20.89	0.26	21.34	0.34
CaO		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
SiO ₂		24.72	0.21	25.20	0.38	24.85	0.34
MnO		0.24	0.03	0.21	0.03	0.23	0.03
TiO ₂		0.04	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02
Cr ₂ O ₃		0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
Totale		87.09	0.48	87.09	0.56	87.09	0.49
Si+4		5.332	0.027	5.426	0.058	5.357	0.056
AlIV		2.668	0.027	2.574	0.058	2.643	0.056
totIV		8.000		8.000		8.000	0.000
AlVI		2.796	0.041	2.729	0.041	2.779	0.050
Cr+3		0.001	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003
Fe+2		5.067	0.062	5.020	0.048	5.055	0.062
Mn+2		0.044	0.005	0.039	0.005	0.042	0.005
Mg+2		4.006	0.053	4.112	0.075	4.034	0.075
Ti+4		0.007	0.004	0.005	0.003	0.007	0.004
totVI		11.921		11.906		11.917	0.032
K+1		0.006	0.006	0.013	0.008	0.007	0.007
Na+1		0.003	0.006	0.005	0.008	0.004	0.006
Ca+2		0.002	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003
Totale		19.932		19.925		19.930	0.031
Altot		5.464	0.037	5.303	0.067	5.422	0.085
AlVI+2Ti+Cr		2.812	0.041	2.741	0.041	2.793	0.052
Fe/Fe+Mg		0.558	0.005	0.550	0.006	0.556	0.007

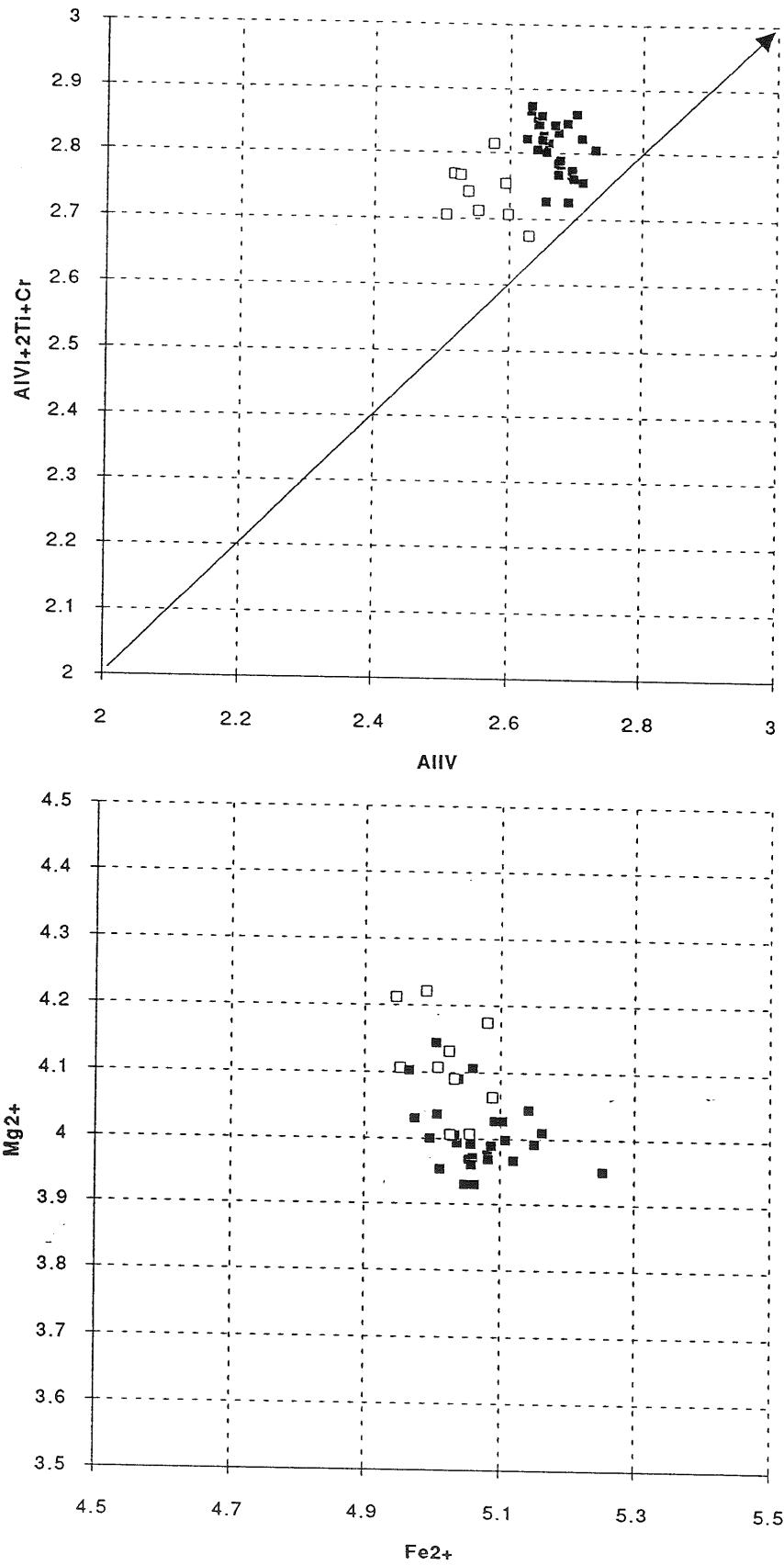


FIG. 9.39a,b. Le cloriti delle metarioliti di Levico: nel campione LV020, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsystemi diversi: Chl stat.-Ms-Qtz (28 quadrati pieni), Chlsinc.-Ms (10 quadrati vuoti).

TABELLA 9.24. Le cloriti delle metarioliti di Levico: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione LV007. La terza colonna rappresenta la media delle 98 analisi di cloriti retrograde (campioni LV057 e LV007)

SITO	->	1: Chl r/Bt		2: Chl-Qz-Ab		globale retrograde	
		media (35)	dev.st.	media (13)	dev.st.	media (98)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
K ₂ O		0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
MgO		13.06	0.27	13.04	0.24	12.71	0.46
FeO		27.39	0.45	27.32	0.59	28.23	0.96
Al ₂ O ₃		20.35	0.20	20.02	0.21	20.01	0.36
CaO		0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01
SiO ₂		26.14	0.22	25.85	0.17	25.98	0.30
MnO		0.34	0.05	0.36	0.05	0.25	0.11
TiO ₂		0.07	0.02	0.08	0.02	0.09	0.04
Cr ₂ O ₃		0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
Totale		87.41	0.53	86.73	0.56	87.33	0.55
Si+4		5.584	0.031	5.574	0.028	5.583	0.045
Al ^{IV}		2.416	0.031	2.426	0.028	2.417	0.045
tot ^{IV}		8.000		8.000		8.000	
Al ^{VI}		2.707	0.034	2.660	0.038	2.650	0.058
Cr+3		0.002	0.003	0.002	0.003	0.002	0.004
Fe+2		4.892	0.083	4.927	0.099	5.073	0.190
Mn+2		0.062	0.009	0.066	0.009	0.046	0.019
Mg+2		4.159	0.078	4.193	0.078	4.072	0.130
Ti+4		0.012	0.004	0.014	0.004	0.015	0.006
tot ^{VI}		11.834		11.862		11.859	
K+1		0.005	0.006	0.004	0.004	0.006	0.006
Na+1		0.003	0.006	0.002	0.005	0.003	0.006
Ca+2		0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003
Totale		19.846		19.872		19.871	
Altot		5.122	0.032	5.087	0.046	5.067	0.072
Al ^{VI} +2Ti+Cr		2.732	0.035	2.689	0.037	2.683	0.053
Fe/Fe+Mg		0.540	0.008	0.540	0.009	0.555	0.017

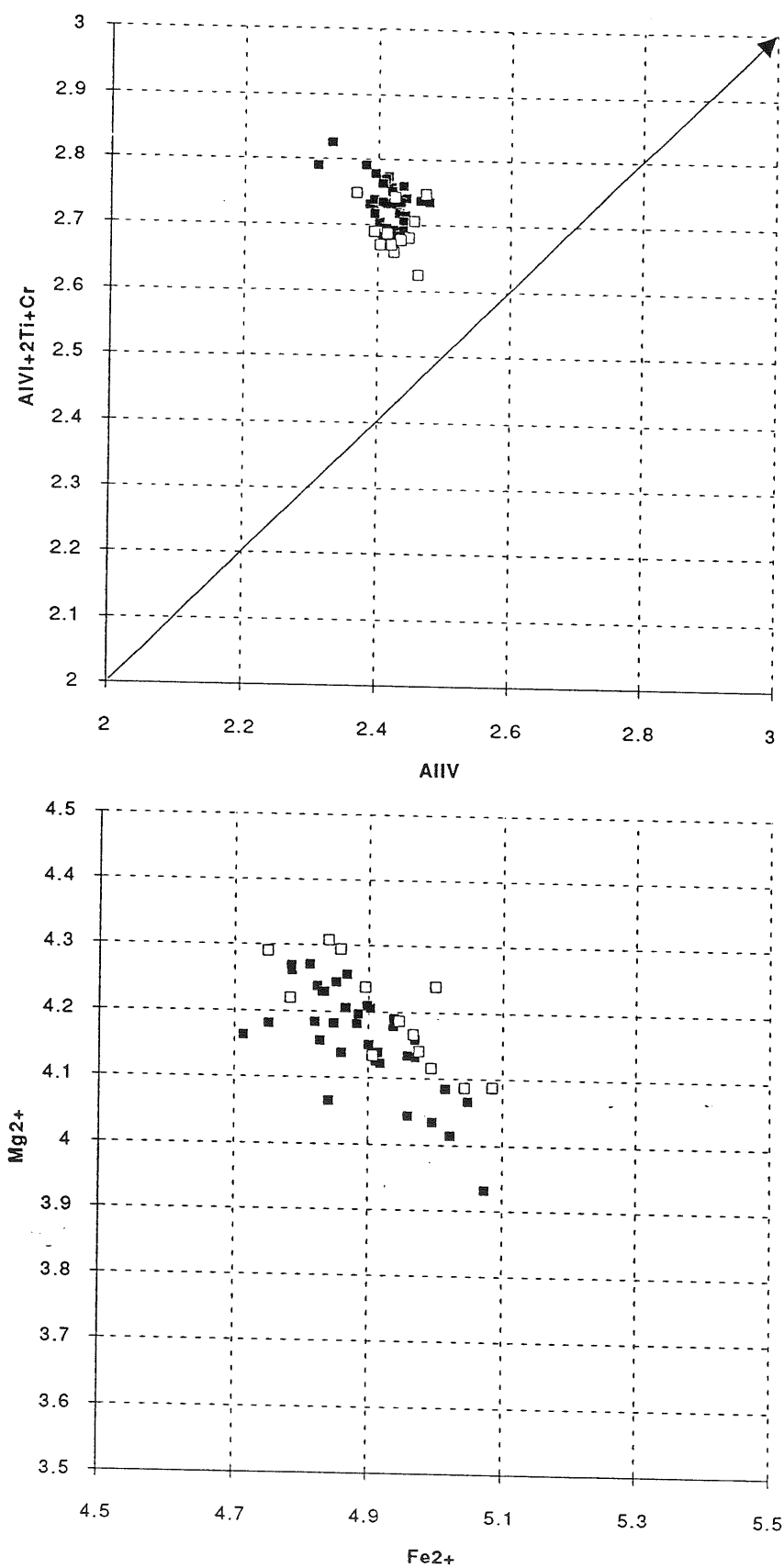


FIG. 9.40a,b. Le cloriti delle metarioliti di Levico: nel campione LV007, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl r/Bt (35 quadrati pieni), Chl-Qtz (13 quadrati vuoti)

2) clorite cristallizzata durante una fase statica in archi poligonali lungo cerniere di pieghe (LV020);

3) clorite in aggregati formatesi a spese di biotite, ricche di inclusi di biossido di titanio e di titanite e da contenuti in Ti^{4+} più elevati della clorite a) e b) (LV007, LV057).

Relativamente a queste categorie, la sostituzione TK aumenta nel seguente ordine: clorite a spese di biotite → clorite sincinemica → clorite statica. La sostituzione AM risulta lievemente maggiore nelle cloriti formatesi a spese di biotite rispetto a tutte le altre. Per quanto riguarda la sostituzione FM invece non risulta evidente alcuna differenza sistematica fra le cloriti delle tre tipologie microstrutturali sopra descritte.

Le cloriti sincinematiche e quelle statiche possono essere considerate rappresentative del chimismo delle cloriti delle metarioliti di Levico formatesi in condizioni termiche riferibili, per quanto si desume dalle metapeliti associate, alla zona a biotite della facies degli scisti verdi. Tenendo perciò conto del fatto che il campione LV057 presenta importanti processi di cloritizzazione retrograda della biotite metamorfica, non si può escludere che anche la clorite sincinemica di questo campione si sia riequilibrata, o abbia comunque modificato la sua composizione chimica, in condizioni termiche corrispondenti alla zona della clorite. Quindi è ragionevole limitarsi a considerare la composizione chimica media di tutte le cloriti del campione LV020 come rappresentative della zona a biotite per queste rocce in questa regione. La terza colonna della TAB. 9.24 presenta le statistiche dei dati chimici globali delle cloriti retrograde (campioni LV057+LV007).

LE CLORITI DELLE METARIOLITI DI CIMA D'ARZON (n=44)

A) Per lo studio delle cloriti di Cima d'Arzon, sono state effettuate complessivamente 44 analisi su 5 lamelle selezionate in un unico campione (CA026). B) Dai diagrammi di FIG. 9.41a,b - emerge che in tali cloriti esiste una piccolissima dispersione dei punti rappresentativi relativamente ai contenuti di Al^{IV} e di $Al^{VI}+2Ti+Cr$, mentre esiste una certa variabilità nei contenuti di Fe e Mg.

C) Le cloriti di questo campione possono essere classificate come:

- i) chamositi magnesifere secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) ripidoliti (FIG. 9.42a) secondo il diagramma classificativo di HEY (1954);
- iii) Fe-cloriti tri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996), (FIG. 9.42b) con formula schematica media $X_{23}Mg_{38}Fe_{39}$.

D) I siti microstrutturali (cioè microsistemi chimici) nei quali sono localizzate le lamelle

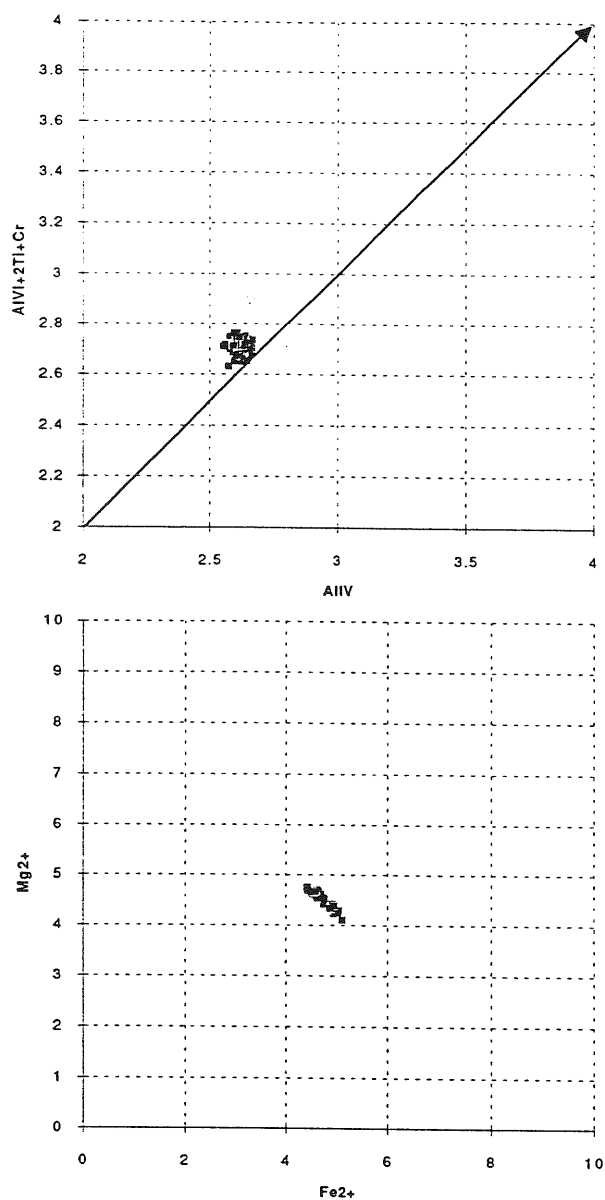


FIG. 9.41a,b. Le cloriti delle metaroliti di Cima d'Arzon (44 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metaroliti.

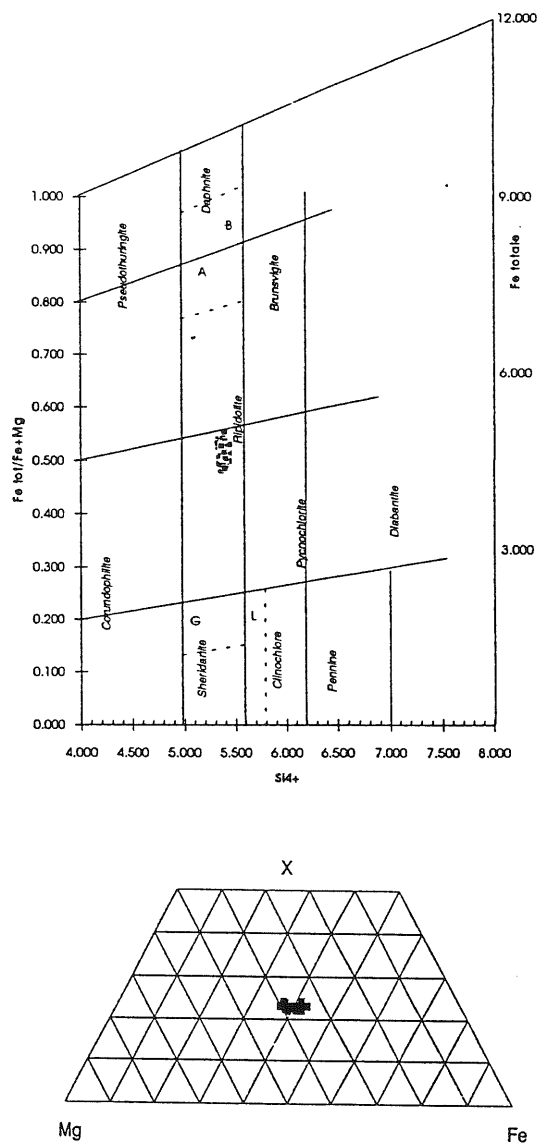


FIG. 9.42a,b. Le cloriti delle metaroliti di Cima d'Arzon (44 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996).

TABELLA 9.25. Le cloriti delle metarioliti di Cima d'Arzon: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione CA026.

SITO	->	1:Chl sinc.-Ms		2:Chl stat-Ms-Qtz		dati globali 1+2	
		media (34)	dev.st.	media (10)	dev.st.	media (44)	dev.st.
Na ₂ O		0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
K ₂ O		0.03	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02
MgO		14.46	0.40	13.34	0.29	14.20	0.61
FeO		25.87	0.74	27.65	0.29	26.27	1.00
Al ₂ O ₃		21.11	0.19	21.05	0.27	21.10	0.21
CaO		0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
SiO ₂		25.26	0.17	24.98	0.12	25.19	0.19
MnO		0.22	0.06	0.14	0.03	0.20	0.06
TiO ₂		0.03	0.02	0.09	0.01	0.05	0.03
Cr ₂ O ₃		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Totale		87.01	0.47	87.28	0.42	87.07	0.47
Si+4		5.385	0.024	5.362	0.029	5.380	0.027
AlIV		2.615	0.024	2.638	0.029	2.620	0.027
totIV		8.000		8.000		8.000	0.000
AlVI		2.692	0.030	2.684	0.031	2.690	0.030
Cr+3		0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Fe+2		4.614	0.138	4.962	0.069	4.693	0.193
Mn+2		0.039	0.011	0.025	0.006	0.036	0.011
Mg+2		4.596	0.118	4.268	0.080	4.521	0.177
Ti+4		0.006	0.003	0.015	0.002	0.008	0.005
totVI		11.947		11.955		11.949	0.020
K+1		0.009	0.005	0.004	0.003	0.008	0.005
Na+1		0.002	0.003	0.003	0.005	0.002	0.004
Ca+2		0.002	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003
Totale		19.961		19.965		19.962	0.020
Altot		5.306	0.040	5.323	0.044	5.310	0.041
AlVI+2Ti+Cr		2.704	0.031	2.716	0.033	2.707	0.032
Fe/Fe+Mg		0.501	0.014	0.538	0.008	0.509	0.020

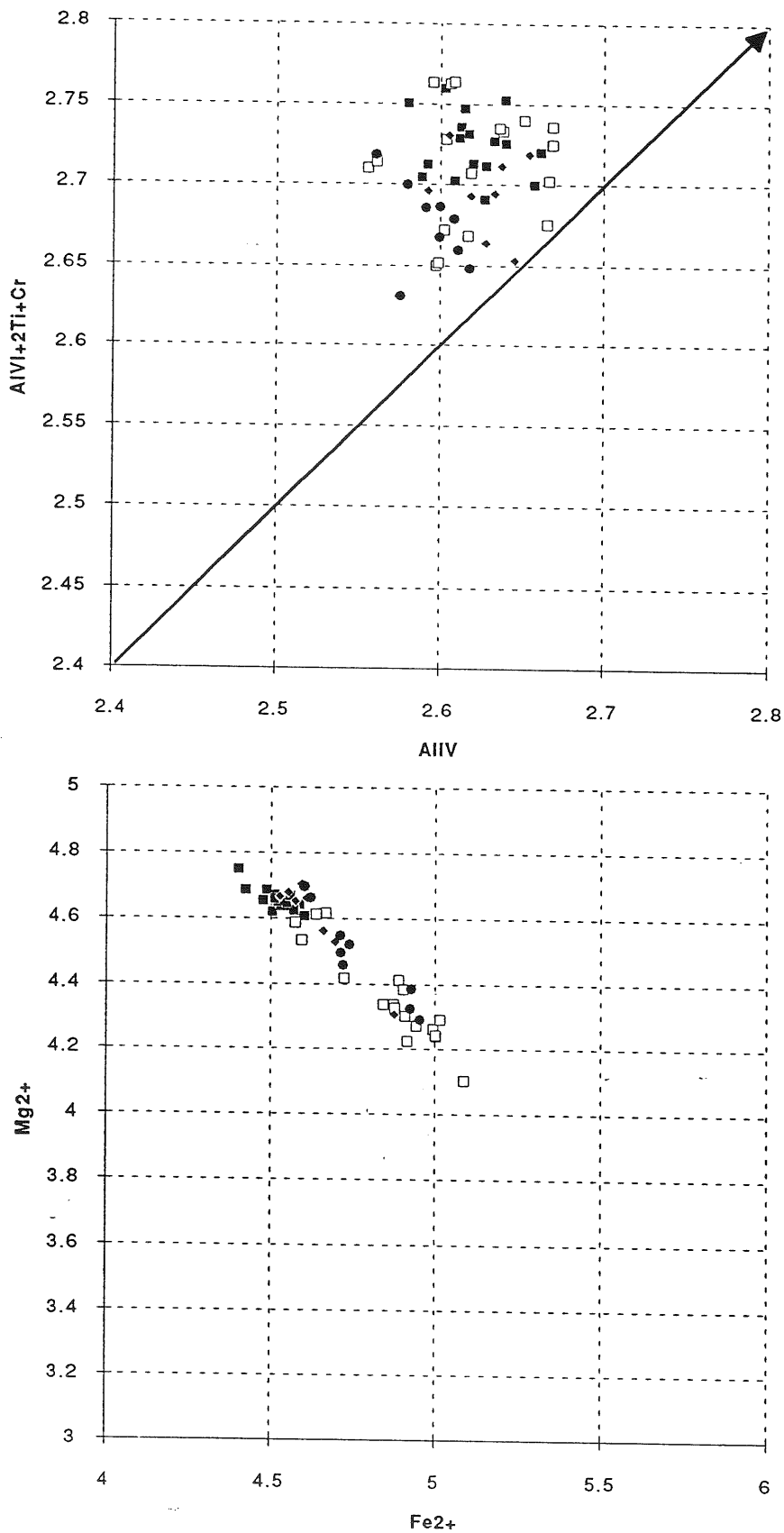


FIG. 9.43a,b. Le cloriti delle metarioliti di Cima d'Arzon: nel campione Ca026, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl sinc.-Ms (34 simboli pieni vari: simboli uguali si riferiscono ad una stessa lamella), Chl stat.-Ms-Qtz (10 quadrati vuoti).

di cloriti analizzate sono:

- 1: "Chl_{sinc.}-Ms"(34 analisi): si tratta di quattro lamelle di clorite sincinematiche parallele a S₁, a contatto con muscovite;
- 2: "Chl_{stat.}-Ms-Qtz" (10 analisi): si tratta di una lamella di clorite di dimensioni maggiori, priva di orientazione preferenziale ed a contatto con quarzo + muscovite.

In TAB. 9.25 vengono riportati i valori mediati delle analisi relative ai due siti. Tutte le analisi contrassegnate da vari simboli pieni in FIG. 9.43a,b si riferiscono a lamelle del sito 1 (clorite sincinematica), mentre le analisi contrassegnate da quadrati vuoti si riferiscono alla clorite del sito 2 (clorite statica). Nell'ambito delle cloriti sincinematiche si sono voluti utilizzare simboli pieni con forme diverse (quadrato, rombo e cerchio) per distinguere le analisi relative a ciascuna singola lamella.

E) Come si può vedere nella tabella e nei diagrammi appena menzionati, le lamelle di clorite appartenenti a siti microstrutturali diversi (simboli pieni e simboli vuoti) e quelle cristallizzate nell'ambito dello stesso sito (simboli pieni con forme diverse) non mostrano variazioni di rilievo per quanto riguarda i contenuti di Al^{IV} e Al^{VI}+2Ti+Cr (FIG. 9.43a). Esiste invece una certa variabilità del rapporto Fe/Mg anche nell'ambito dello stesso sito: i valori più bassi di tale rapporto compaiono in cloriti statiche, i valori più alti in cloriti sincinematiche.

F) In considerazione di quanto sopra detto, e non avendo parametri per fare delle scelte, ritengo di prendere il chimismo medio di tutte le lamelle di clorite analizzate come rappresentativo delle composizioni delle cloriti di questa regione per la zona della biotite in facies degli scisti verdi.

9.3.3.3 Gruppo di alta temperatura

LE CLORITI DELLE METARIOLITI DELLA VAL SARENTINO (n=141)

A) Sono state realizzate in totale 141 analisi, su 12 lamelle selezionate nei campioni VD29, VD58, VD54. Questi campioni, sulla base delle loro caratteristiche petrografiche, sono stati suddivisi in due sottogruppi:

- a) sottogruppo a granato (VD29);
- b) sottogruppo "senza granato" (VD58, VD54) sulla base della presenza (VD29) o assenza (VD54 e VD58) di granato, a parità di grado metamorfico.

B) Nei diagrammi di FIG. 9.44a,b vengono riportate tutte le analisi relative ai tre campioni. Si nota subito per tutti i parametri chimici considerati una elevata variabilità compositiva sia tra cloriti di campioni diversi che tra cloriti cristallizzate nell'ambito

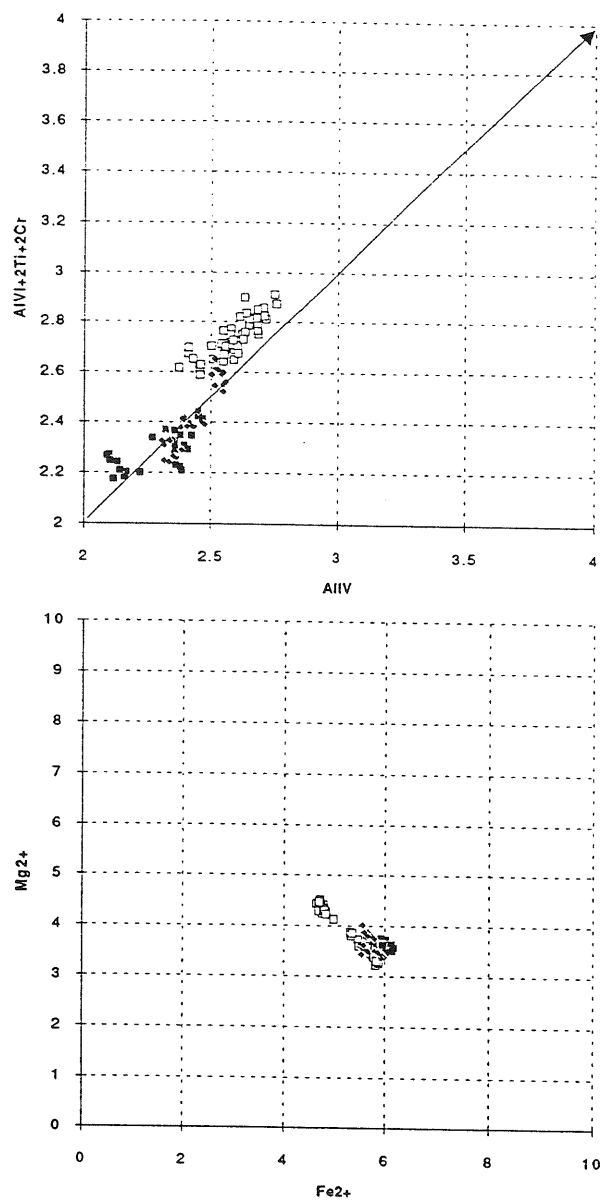


FIG. 9.44a,b. Le cloriti delle metaroliti della Val Sarentino (141 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metaroliti. Campioni: VD29 (quadrati vuoti), VD58 (rombi pieni), VD54 (quadrati pieni).

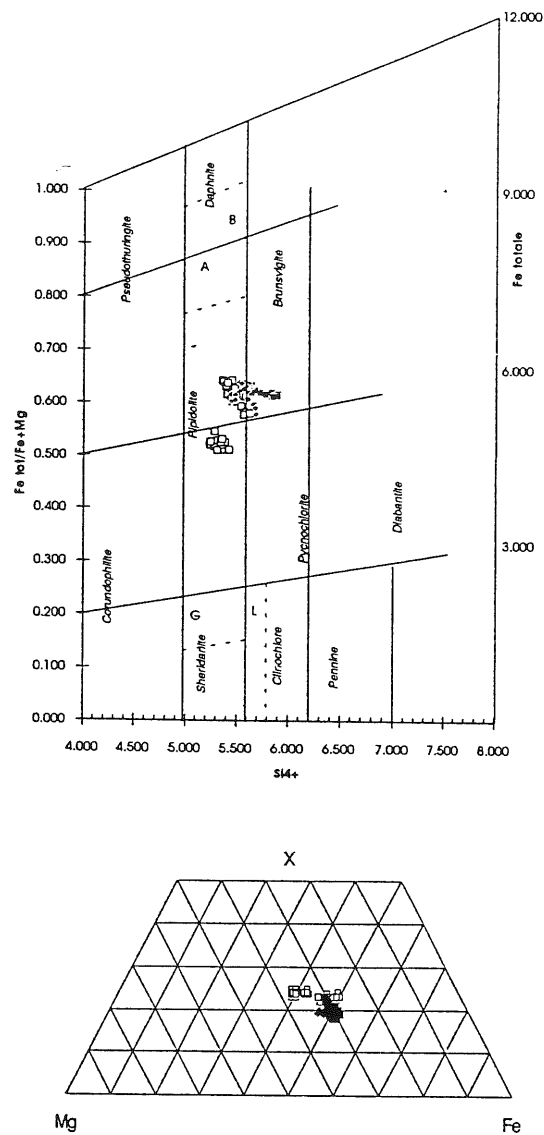


FIG. 9.45a,b. Le cloriti delle metaroliti della Val Sarentino (141 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996). Simboli come in FIG. 9.44.

TABELLA 9.26. Le cloriti delle metarioliti della Val Sarentino: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione VD029 .

SITO	->	1: Chl-Bt-Grt		2: Chl r/Bt		3: Chl r/Grt	
		media (35)	dev.st.	media (26)	dev.st.	media (6)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02
K ₂ O		0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.05
MgO		13.69	0.29	10.75	0.56	12.59	0.10
FeO		26.30	0.36	30.91	0.80	27.74	0.31
Al ₂ O ₃		21.70	0.35	20.09	0.36	21.51	0.16
CaO		0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02
SiO ₂		24.77	0.31	24.96	0.42	24.61	0.20
MnO		0.15	0.03	0.37	0.12	0.20	0.02
TiO ₂		0.07	0.02	0.05	0.02	0.05	0.01
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02
Totale		86.73	0.41	87.19	0.23	86.76	0.29
Si+4		5.311	0.055	5.470	0.071	5.321	0.038
AlIV		2.689	0.055	2.531	0.071	2.679	0.038
totIV		8.000		8.000		8.000	
AlVI		2.794	0.048	2.659	0.046	2.801	0.026
Cr+3		0.003	0.003	0.004	0.004	0.002	0.003
Fe+2		4.715	0.069	5.667	0.170	5.015	0.053
Mn+2		0.027	0.006	0.069	0.022	0.036	0.004
Mg+2		4.377	0.086	3.511	0.170	4.057	0.030
Ti+4		0.012	0.003	0.009	0.003	0.008	0.002
totVI		11.928		11.918		11.920	
K+1		0.003	0.003	0.006	0.009	0.008	0.013
Na+1		0.004	0.005	0.002	0.004	0.004	0.007
Ca+2		0.003	0.004	0.003	0.005	0.004	0.004
Totale		19.937		19.929		19.936	
Altot		5.484	0.090	5.189	0.106	5.481	0.044
AlVI+2Ti+Cr		2.821	0.047	2.680	0.046	2.820	0.025
Fe/Fe+Mg		0.519	0.008	0.617	0.018	0.553	0.004

dello stesso campione. Le cloriti del campione VD29 (quadrati vuoti) presentano una sostituzione tschermakitica decisamente più spinta rispetto alle cloriti degli altri due campioni (simboli pieni), mentre alcuni dei punti rappresentativi del campione VD54 si avvicinano al termine estremo clinocloro-chamosite. Si noti inoltre che i punti rappresentativi di ogni singolo campione si sgranano lungo la freccia che indica la sostituzione TK, indicando una notevole variabilità compositiva anche tra lamelle appartenenti allo stesso campione. Nella FIG. 9.44b invece la dispersione dei punti risulta contenuta nei campioni VD58 e VD54 ed elevata per il campione VD29 (quadrati vuoti).

C) Le composizioni chimiche sono state riportate nei diagrammi classificativi di FIG. 9.45a,b. Tuttavia è opportuno discuterne meglio dopo aver osservato in dettaglio, nell'ambito di ogni singolo campione, il chimismo delle cloriti in funzione dei diversi siti microstrutturali (o microsistemi).

D₁, E₁) Nel campione VD029 sono state realizzate complessivamente 61 analisi su 7 lamelle di clorite. I siti microstrutturali (microsistemi) considerati sono:

- 1: "Chl-Bt-Grt" (35 analisi): si tratta di quattro lamelle di clorite sincinemica parallele a S₁, caratterizzate da colori di interferenza anomali sui toni del marrone, in alcuni casi le cloriti analizzate sono effettivamente a contatto con biotite e granato, in altri casi sono a contatto con biotite in letto granatifero;
- 2: "Chl_T/Bt" (26 analisi): si tratta di 2 lamelle di clorite formatasi per trasformazione retrograda di biotite, caratterizzata da colori di interferenza sui toni anomali del blu;
- 3: "Chl_T/Grt" (6 analisi): si tratta di una lamella di clorite pseudomorfa su granato.

In TAB. 9.26 vengono presentati i dati chimici riassuntivi relativi alle cloriti dei tre siti. La proiezione delle singole analisi viene presentata nei diagrammi di FIG. 9.46a,b. La sostituzione tschermakitica (TK) risulta essere più spinta per le cloriti sincinematiche (sito 1: quadrati pieni) e, anche se in misura tendenzialmente minore, per le cloriti pseudomorfe su granato (sito 3: rombi pieni). Altrettanto si può dire per la sostituzione MgFe-1: infatti le cloriti pseudomorfe su granato (rombi pieni) presentano contenuti di Mg (e Fe) intermedi tra quelle del sito 1 cloriti sincinematiche (quadrati pieni) e quelle del sito 2 (quadrati vuoti). Queste ultime, oltre ad essere le più povere in Mg, risultano anche le meno ricche in Al^{IV} e Al^{VI}+2Ti+Cr e ovviamente le più ricche in Fe. Inoltre, la dispersione dei loro punti rappresentativi è maggiore di quella delle cloriti degli altri due siti, soprattutto per il rapporto Fe/Mg. La sostituzione AM, infine, si può considerare simile per tutte le cloriti considerate.

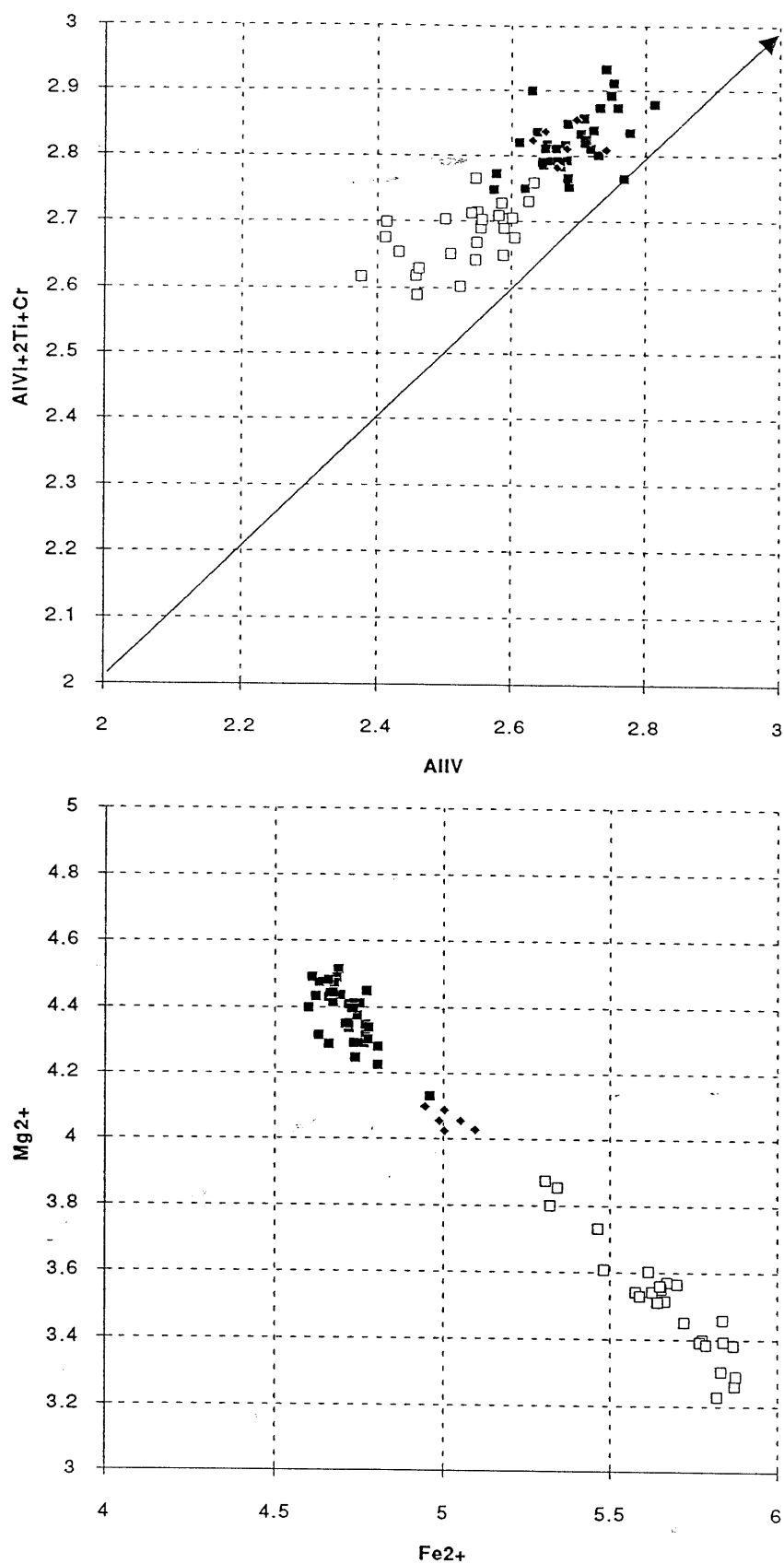


FIG. 9.46a,b. Le cloriti delle metarioliti della Val Sarentino: nel campione VD29, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl-Bt-Grt (35 quadrati pieni), Chl r/Bt (26 quadrati vuoti), Chl r/Grt (6 rombi pieni).

D₂, E₂) Nel campione VD58 sono state ottenute, complessivamente, 32 analisi in tre diverse lamelle di clorite. Dei tre siti considerati due sono molto simili tra loro:

1: "Chl_{1r}/Bt-Ms-Qtz" (12 analisi): si tratta di una lamella di clorite caratterizzate dal pleocroismo giallo - verde scuro e dalla presenza di cristalli inclusi di titanite. Tale clorite è a contatto con muscovite + quarzo. Verosimilmente si tratta di clorite retrograda da biotite.

2: "Chl_{1r}/Bt-Ms-Qtz-Ep". Si tratta di una lamella di clorite caratterizzata da pleocroismo meno marcato (giallo chiaro - verde) che si trova a contatto con muscovite + quarzo + epidoto, formatasi per alterazione retrograda di biotite.

3: "Chl_{2r}/Bt-Ms-Qtz" (10 analisi): si tratta di una lamelle di clorite con le stesse caratteristiche ottiche della clorite del sito 1.

In TAB. 9.27 sono riportati i valori della media e della deviazione standard delle analisi di clorite nei vari siti. Tutte le singole analisi vengono invece rappresentate nei diagrammi di FIG. 9.47a,b. Da tali diagrammi e dai dati della tabella citata risulta subito evidente che le tre lamelle sono compositivamente diverse. Per quanto riguarda la sostituzione TK, essa aumenta da: sito 3 (rombi pieni) → sito 1 (quadrati pieni) → sito 2 (quadrati vuoti). La clorite del sito 2 presenta un certo grado di sostituzione AM (le analisi cadono nel campo al di sopra della freccia), mentre le cloriti dei siti 1 e 3 presentano quasi sempre contenuti di $Al^{VI}+2Ti+Cr$ inferiori ai contenuti di Al^{IV} (le analisi quindi cadono nel campo di saturazione sottostante la freccia). Ciò suggerisce la presenza, in tali cloriti, di Fe^{3+} . La sostituzione $MgFe_{-1}$ aumenta invece da: sito 1 (quadrati pieni) → sito 2 (quadrati vuoti) → sito 3 rombi pieni; ma va anche notato che le cloriti del sito 2 hanno valori minori di $Fe+Mg$. Limitando ora il confronto tra le cloriti del sito 1 con quelle del sito 3 risulta che le cloriti più alluminifere (sito 1: quadrati pieni) sono anche le più ferriifere.

D₃, E₃) Nel campione VD54 sono stati effettuati in totale 28 punti analisi su 3 lamelle di clorite. Le tre lamelle provengono da altrettanti siti dei quali due si possono considerare del tutto simili:

1: "Chl_{1r}/Bt-Qtz" (9 analisi): si tratta di una lamella di clorite deuterica a contatto con quarzo, caratterizzata dal pleocroismo giallo - verde scuro e dalla presenza di granuli di titanite inclusi.

2 e 3: "Chl_{1r}/Bt-Ms-Qtz" e "Chl_{2r}/Bt-Ms-Qtz" (9 e 10 analisi): si tratta di due lamelle di clorite retrograde con le stesse caratteristiche ottiche della lamella del sito 1, a contatto con muscovite + quarzo.

TABELLA 9.27. Le cloriti delle metarioliti della Val Sarentino: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione VD058.

SITO	->	1: Chl r1/Bt-Ms-Qtz	2: Chl r/Bt-Ms-Qtz-Ep	3: Chl r2/Bt-Ms-Qtz
		media (12) dev.st.	media (10) dev.st.	media 10) dev.st.
Na2O		0.01 0.02	0.01 0.01	0.01 0.01
K2O		0.02 0.02	0.01 0.01	0.01 0.01
MgO		10.37 0.13	10.85 0.23	11.69 0.25
FeO		31.80 0.42	30.13 0.35	30.64 0.32
Al2O3		18.40 0.13	19.53 0.18	17.72 0.17
CaO		0.02 0.02	0.01 0.01	0.00 0.01
SiO2		25.09 0.23	24.78 0.13	25.65 0.21
MnO		1.42 0.06	1.50 0.09	1.25 0.10
TiO2		0.04 0.02	0.11 0.04	0.08 0.04
Cr2O3		0.01 0.01	0.02 0.02	0.01 0.02
Totale		87.19 0.52	86.95 0.57	87.07 0.35
Si+4		5.570 0.032	5.466 0.018	5.661 0.026
AlIV		2.430 0.032	2.534 0.018	2.339 0.026
totIV		8.000	8.000	8.000
AlVI		2.386 0.023	2.543 0.041	2.268 0.041
Cr+3		0.002 0.002	0.003 0.004	0.002 0.003
Fe+2		5.905 0.064	5.558 0.048	5.655 0.073
Mn+2		0.268 0.012	0.281 0.018	0.234 0.019
Mg+2		3.434 0.046	3.569 0.064	3.845 0.074
Ti+4		0.007 0.003	0.018 0.007	0.013 0.006
totVI		12.003	11.971	12.018
K+1		0.005 0.005	0.003 0.004	0.003 0.003
Na+1		0.005 0.008	0.003 0.005	0.003 0.004
Ca+2		0.005 0.004	0.003 0.003	0.001 0.002
Totale		20.018	19.980	20.025
Altot		4.816 0.046	5.077 0.038	4.608 0.043
AlVI+2Ti+Cr		2.403 0.025	2.581 0.038	2.296 0.043
Fe/Fe+Mg		0.632 0.006	0.609 0.005	0.595 0.007

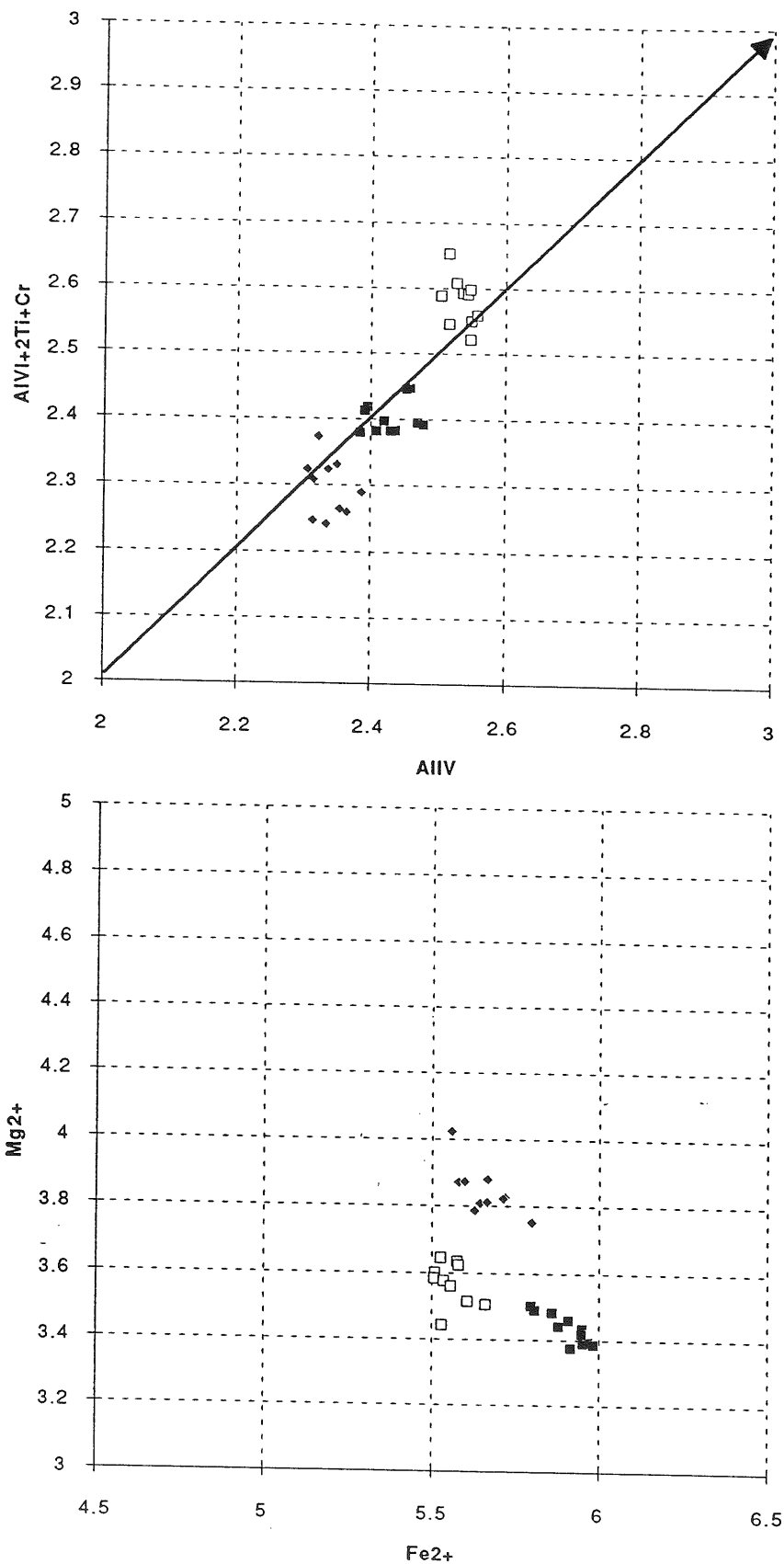


FIG. 9.47a,b. Le cloriti delle metarioliti della Val Sarentino: nel campione VD58, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl r1/Bt-Ms-Qtz del sito 1 (12 quadrati pieni), Chl r/Bt-Ms-Qtz-Ep (10 quadrati vuoti), Chl r2/Bt-Ms-Qtz del sito 3 (10 rombi pieni).

TABELLA 9.28. Le cloriti delle metarioliti della Val Sarentino: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione VD054 . L'ultima colonna rappresenta la media delle 106 analisi di cloriti retrograde.

SITO	->	1: Chl r/Bt-Qtz		2: Chl r1/Bt-Ms-Qtz		3: Chl r2/Bt-Ms-Qtz		globale retrograde	
		media(9)	dev.st.	media (9)	dev.st.	media (10)	dev.st.	media(106)	dev.st.
Na2O		0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
K2O		0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
MgO		10.93	0.22	11.38	0.28	10.95	0.22	11.04	0.65
FeO		32.42	0.45	31.93	0.65	32.55	0.57	31.12	1.32
Al2O3		18.00	0.40	16.64	0.13	18.11	0.41	18.89	1.35
CaO		0.02	0.01	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
SiO2		25.52	0.27	26.59	0.31	25.36	0.21	25.27	0.61
MnO		0.60	0.06	0.46	0.05	0.56	0.04	0.76	0.48
TiO2		0.06	0.06	0.05	0.02	0.06	0.02	0.06	0.03
Cr2O3		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Totale		87.58	0.29	87.12	0.30	87.63	0.32	87.20	0.42
Si+4		5.630	0.061	5.863	0.040	5.597	0.038	5.561	0.143
AlIV		2.370	0.061	2.137	0.040	2.403	0.038	2.439	0.143
totIV		8.000		8.000		8.000		8.000	
AlVI		2.309	0.056	2.204	0.039	2.306	0.072	2.461	0.195
Cr+3		0.002	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003
Fe+2		5.981	0.093	5.931	0.063	6.007	0.121	5.734	0.272
Mn+2		0.112	0.012	0.086	0.010	0.105	0.008	0.142	0.090
Mg+2		3.596	0.069	3.714	0.034	3.601	0.060	3.619	0.194
Ti+4		0.011	0.010	0.008	0.003	0.010	0.003	0.010	0.006
totVI		12.011		11.945		12.029		11.969	
K+1		0.002	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.006
Na+1		0.007	0.010	0.006	0.008	0.006	0.005	0.004	0.006
Ca+2		0.004	0.004	0.009	0.005	0.005	0.007	0.004	0.005
Totale		20.024		19.963		20.043		19.982	
Altot		4.679	0.095	4.341	0.033	4.709	0.097	4.900	0.326
AlVI+2Ti+Cr		2.332	0.066	2.221	0.036	2.326	0.072	2.484	0.196
Fe/Fe+Mg		0.624	0.007	0.615	0.003	0.625	0.008	0.613	0.022

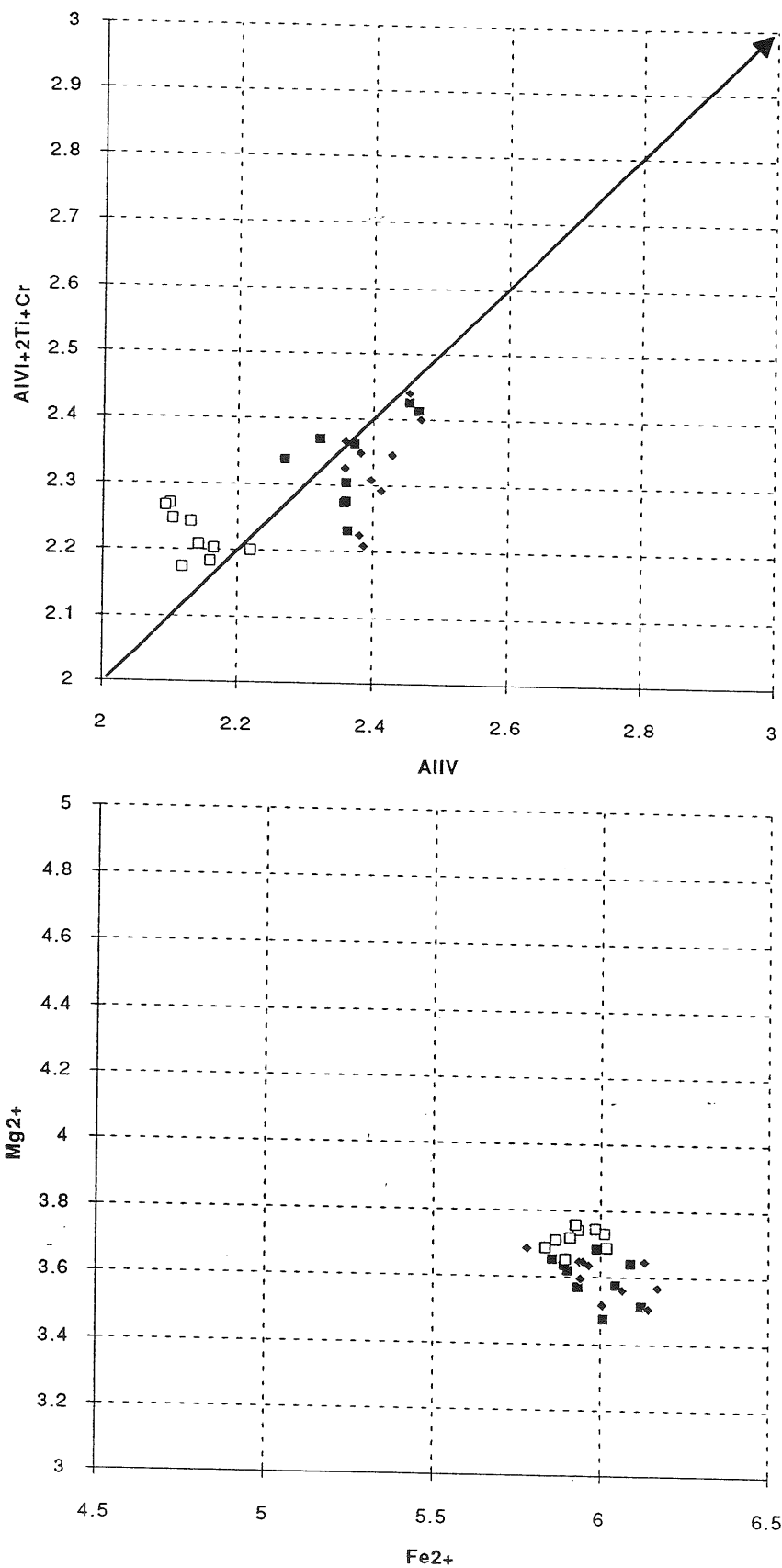


FIG. 9.48a,b. Le cloriti delle metarioliti della Val Sarentino: nel campione VD54, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl r/Bt-Qtz (9 quadrati pieni), Chl r1/Bt -Ms-Qtz del sito 2 (9 quadrati vuoti), Chl r2/Bt -Ms-Qtz del sito 3 (10 rombi pieni).

In TAB. 9.28 vengono riportati i parametri statistici delle analisi delle cloriti dei diversi siti. Un confronto più immediato del chimismo di tali lamelle è possibile grazie ai diagrammi di FIG. 9.48a,b. La sostituzione TK cresce da: sito 2 (quadrati vuoti) → siti 1 e 3 (simboli pieni). Il contenuto di Mg cresce da: sito 1 e 3 (simboli pieni) → sito 2 (quadrati vuoti). Le cloriti più alluminifere pertanto risultano essere anche le più ferri-ferre.

Dal punto di vista classificativo le cloriti delle metarioliti della Val Sarentino qui studiate possono essere denominate:

- i) chamositi magnesifere secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980)
- ii) secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 9.45a) ripidoliti (nei campioni VD29; VD58 -sito 3; VD54 - sito 2 e parte dei siti 1 e 3); brunsvigiti (nei campioni VD58 - sito 2; VD54 -parte dei siti 1 e 3);
- iii) Fe-cloriti tri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) (FIG. 9.45b) con formula schematica media:

$X_{24}Mg_{37}Fe_{39}$ (nel campione VD29 - sito 1);

$X_{23}Mg_{29}Fe_{48}$ (nel campione VD29 - sito 2);

$X_{24}Mg_{34}Fe_{42}$ (nel campione VD29 - sito 3);

$X_{20}Mg_{31}Fe_{49}$ (nel campione VD58);

$X_{19}Mg_{31}Fe_{50}$ (nel campione VD54).

F) Oltre un centinaio delle 141 analisi effettuate si riferiscono a cloriti derivate da processi retrogradi di cloritizzazione e vanno quindi riferite a condizioni termiche di bassa temperatura (zona della clorite). Il loro chimismo medio globale è rappresentato nella quarta colonna di TAB. 9.28.

Invece la media delle 35 analisi di clorite a contatto con biotite e granato (colonna 1 di TAB. 9.26) ben rappresenta il chimismo della clorite della zona dell'almandino di questa regione: si noti in particolare che in questo caso abbiamo a che fare con alcune lamelline di clorite in associazione limitante e alcune lamelline in associazione quasi limitante (a contatto con biotite in letto granatifero). Ciò peraltro spiega la pur modesta variabilità compositiva.

9.4 CHIMISMO DELLE CLORITI DI PRESSIONE INTERMEDIA

9.4.1 Cloriti di metapeliti

9.4.1.1 Gruppo di bassa temperatura.

LE CLORITI DELLE METAPELITI DELLE HIGHLANDS SCOZZESI, LOCALITA' 4 ($n=71$)

- A) Sono state realizzate 71 analisi su 10 lamelle di clorite scelte nei campioni 65635B e 4/5, quest'ultimo di composizione più arenaceo del precedente, che è decisamente pelitico.
- B) In FIG. 9.49a,b vengono proiettati i dati chimici divisi per ciascun campione. Come è evidente da tali diagrammi, la dispersione dei punti all'interno di ciascun campione è alquanto contenuta se si considera che si tratta di cloriti di basso grado metamorfico. Dal confronto tra campioni invece risulta che nelle cloriti del campione 4/5 (quadrati vuoti), la sostituzione TK è più spinta, mentre le sostituzioni AM e FeMg₋₁ non mostrano marcate differenze sistematiche.
- C) Le cloriti delle metapeliti delle Highlands Scozzesi della Località 4 possono essere classificate in:
- i) chamositi magnesifere, secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
 - ii) ripidoliti, secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 9. 50a);
 - iii) Fe-cloritriti-triottaedriche (FIG. 9.50b) secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996), con formula schematica media $X_{24}Mg_{27}Fe_{49}$, per il campione 65635B, e $X_{24}Mg_{26}Fe_{50}$, per il campione 4/5.
- D) Le lamelle analizzate sono situate in siti microstrutturali analoghi, e precisamente "Chl-Ms" (71 analisi): si tratta cioè di clorite situata in letti lepidoblastici sericitici. Le dimensioni della clorite analizzata sono leggermente maggiori rispetto a quelle della matrice, rendendo così possibile l'esecuzione di ottime microanalisi.
- E) Nelle TAB. 9.29 e 9.30 vengono riportati i dati chimici mediati per le cloriti rispettivamente dei campioni 65635B e 4/5. Da rimarcare è la già menzionata minore entità della sostituzione TK per il campione 65635B che, è quello più pelitico.
- F) Considerando che le cloriti del campione 65635B sono quelle cristallizzate in un sistema più pelitico, quindi in condizioni chimiche più adatte al confronto con le cloriti considerate nei pertinenti paragrafi precedenti, è il loro chimismo medio (TAB. 9.29) da considerare come rappresentativo del chimismo delle cloriti della zona della clorite di questa regione.

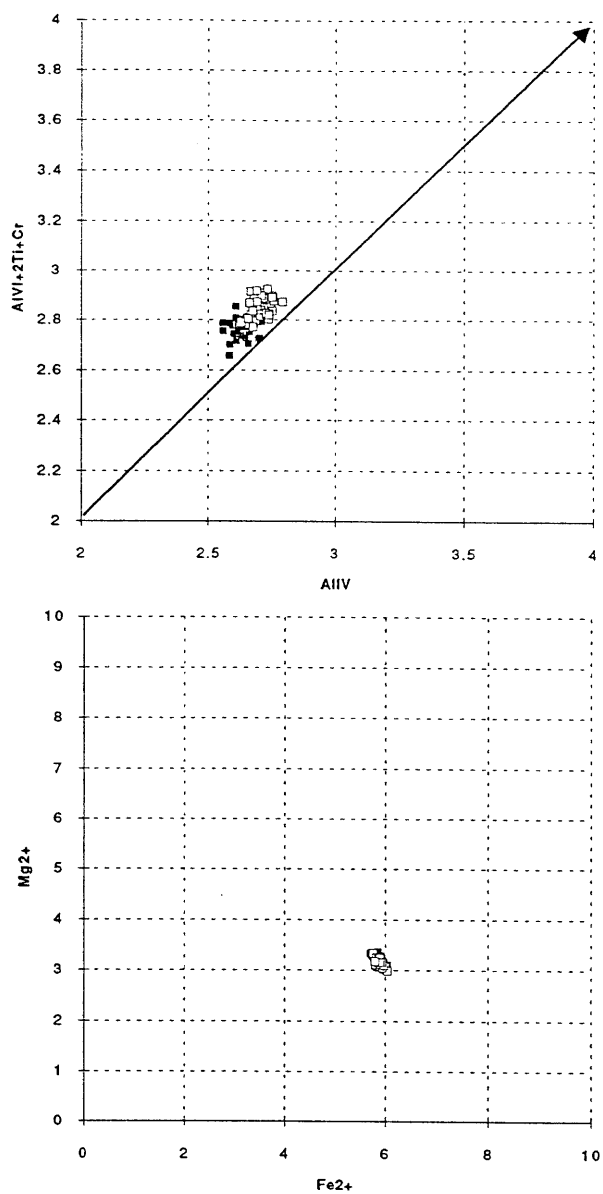


FIG. 9.49a,b. Le cloriti delle metapeliti delle Highlands Scozzesi, località 4 (71 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metapeliti. Campioni: 65635B (quadrati pieni), 4/5 (quadrati vuoti).

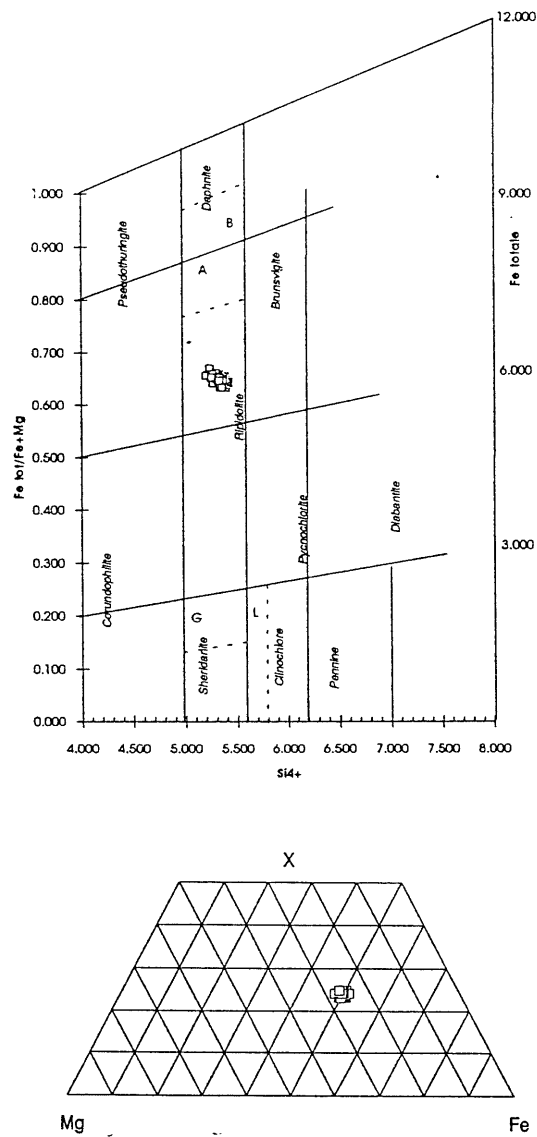


FIG. 9.50a,b. Le cloriti delle metapeliti delle Highlands Scozzesi, località 4 (71 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996). Simboli come in FIG. 9.49.

TABELLA 9.29. Le cloriti delle metapeliti delle Highlands Scozzesi, località 4: statistiche dei contenuti chimici nel campione 65635B.

SITO	->	Chl-Ms
		media (32) dev.st.
Na ₂ O		0.01 0.01
K ₂ O		0.04 0.02
MgO		9.82 0.25
FeO		31.72 0.40
Al ₂ O ₃		20.63 0.30
CaO		0.01 0.01
SiO ₂		24.33 0.25
MnO		0.39 0.04
TiO ₂		0.06 0.07
Cr ₂ O ₃		0.02 0.02
Totale		87.02 0.67
Si+4		5.373 0.035
AlIV		2.627 0.035
totIV		8.000
AlVI		2.744 0.043
Cr+3		0.003 0.003
Fe+2		5.858 0.075
Mn+2		0.072 0.007
Mg+2		3.232 0.074
Ti+4		0.010 0.012
totVI		11.919
K+1		0.011 0.005
Na+1		0.004 0.006
Ca+2		0.003 0.003
Totale		19.937
Altot		5.371 0.050
AlVI+2Ti+Cr		2.767 0.039
Fe/Fe+Mg		0.644 0.008

TABELLA 9.30. Le cloriti delle metapeliti delle Highlands Scozzesi, località 4: statistiche dei contenuti chimici nel campione 4/5.

SITO	Chl-Ms
	media (39) dev.st.
Na ₂ O	0.01 0.01
K ₂ O	0.03 0.02
MgO	9.53 0.25
FeO	32.08 0.30
Al ₂ O ₃	21.34 0.27
CaO	0.01 0.01
SiO ₂	24.05 0.26
MnO	0.27 0.03
TiO ₂	0.05 0.02
Cr ₂ O ₃	0.02 0.02
Totale	87.38 0.49
Si+4	5.293 0.037
AlIV	2.707 0.037
totIV	8.000
AlVI	2.828 0.044
Cr+3	0.003 0.003
Fe+2	5.905 0.064
Mn+2	0.050 0.005
Mg+2	3.125 0.071
Ti+4	0.009 0.003
totVI	11.920
K+1	0.009 0.005
Na+1	0.003 0.005
Ca+2	0.003 0.003
Totale	19.935
Altot	5.536 0.068
AlVI+2Ti+	2.849 0.042
Fe/Fe+Mg	0.654 0.007

9.4.1.2 Gruppo di temperatura intermedia.

LE CLORITI DELLE METAPELITI DELLE HIGHLANDS SCOZZESI, LOCALITA' 3 ($n=100$)

A) Sono state effettuate complessivamente 100 analisi su 10 lamelle di clorite nei campioni 67691 e 67694, quest'ultimo avente composizione pelitica, l'altro essendo tendenzialmente arenaceo.

B) Come si può vedere in FIG. 9.51a,b le cloriti di entrambi i campioni presentano valori della sostituzione tschermakitica grossomodo confrontabili, anche se quelli del campione 67691 (quadrati pieni) presentano una maggiore variabilità. Questi ultimi, inoltre, hanno in maggior parte valori di sostituzione AM più bassi e rapporti Fe/Mg tendenzialmente più alti.

C) Le cloriti delle metapeliti delle Highlands Scozzesi della località 3 sono classificabili in:

- i) chamositi magnesifere, secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) ripidoliti, secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 9.52a);
- iii) Fe-clorititri-triottaedriche (FIG. 9.52b) secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996), con formula schematica media $X_{25}Mg_{25}Fe_{50}$, nel campione 67691, e $X_{25}Mg_{27}Fe_{48}$, nel campione 67694.

D₁, E₁) Le quattro lamelle considerate nel **campione 67694** provengono tutte dallo stesso sito microstrutturale, del tipo "Chl_{stat.}-Ms" (44 analisi): si tratta cioè di clorite statica cristallizzata in livelli lepidoblastici a contatto con muscovite.

I valori medi e relativa deviazione standard delle 44 analisi effettuate su questo campione vengono presentate in TAB. 9.31.

D₂, E₂) Nel **campione 67691**, invece, sono stati considerati i seguenti quattro siti microstrutturali:

- 1: "Chl_{stat.}-Ms" (19 analisi): si tratta di due lamelle di clorite statica parallele a S_1 , a contatto con muscovite;
- 2: "Chl_{stat.}-Qtz" (9 analisi): si tratta di una lamella di clorite statica parallela a S_1 situata in un letto granoblastico.
- 3: "Chl_{perp.}" (10 analisi): si tratta di clorite cristallizzata trasversalmente a S_1 .
- 4: "Chl_{sinc.}-Ms" (18 analisi): si tratta di due lamelle di clorite sincinemica parallela a S_1 , situate in livelli lepidoblastici a contatto con muscovite.

La TAB. 9.32 e la FIG. 9.53a,b riportano rispettivamente i dati chimici mediati e la proiezione di tutte le analisi relative alle cloriti nei diversi siti microstrutturali. Le cloriti statiche (siti 1 e 2: quadrati pieni e vuoti, rispettivamente) risultano compositivamente

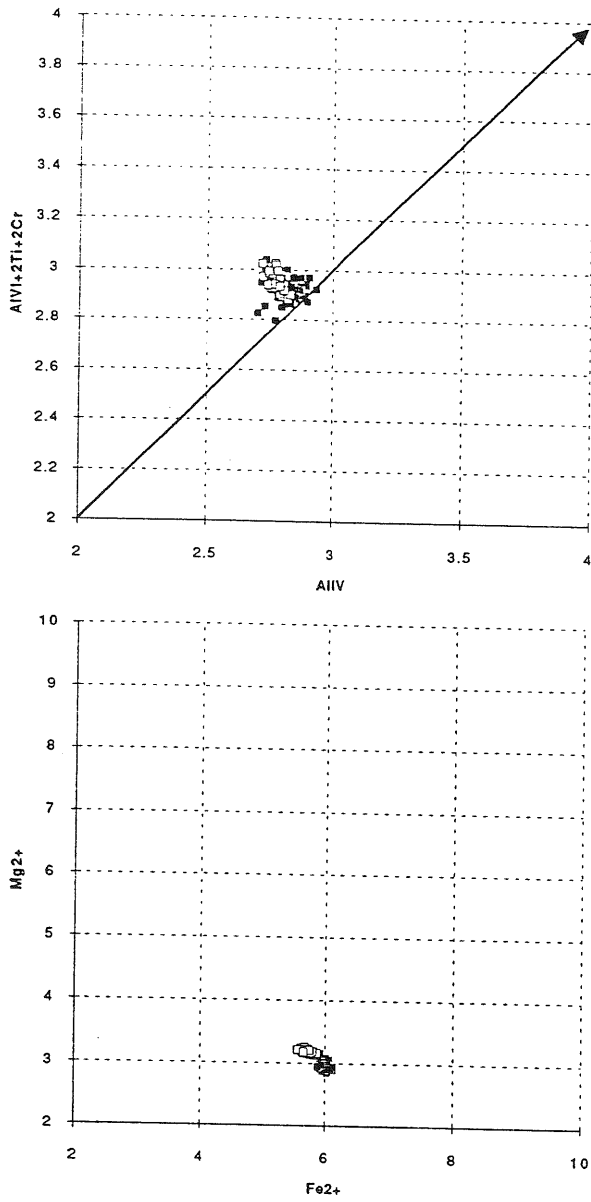


FIG. 9.51a,b. Le cloriti delle metapeliti delle Highlands Scozzesi, località 3 (100 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metapeliti. Campioni: 67691 (quadrati pieni), 67694 (quadrati vuoti).

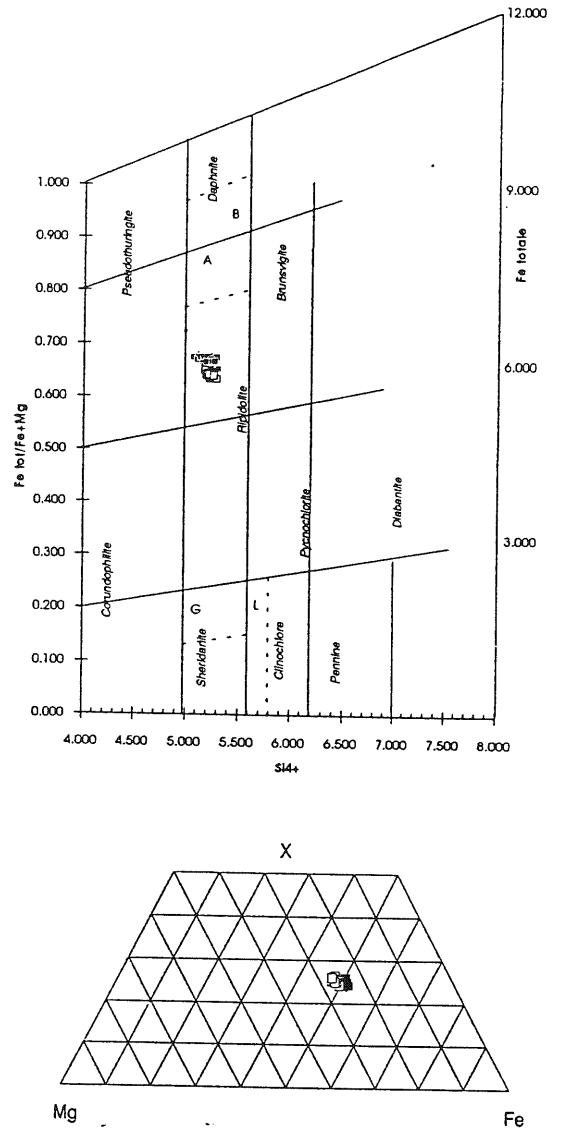


FIG. 9.52a,b. Le cloriti delle metapeliti delle Highlands Scozzesi, località 3 (100 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996). Simboli come in FIG.9.51.

TABELLA 9.31. Le cloriti delle metapeliti
delle Highlands Scozzesi, località 3:
statistiche dei contenuti chimici
nel campione 67694.

SITO	->	Chl stat.-Ms	
		media (44)	dev.st.
Na2O		0.01	0.01
K2O		0.02	0.02
MgO		9.73	0.15
FeO		31.08	0.32
Al2O3		22.03	0.28
CaO		0.01	0.01
SiO2		23.76	0.27
MnO		0.27	0.03
TiO2		0.05	0.02
Cr2O3		0.02	0.02
Totale		86.98	0.70
Si+4		5.225	0.023
AlIV		2.775	0.023
totIV		8.000	
AlVI		2.934	0.036
Cr+3		0.003	0.004
Fe+2		5.717	0.070
Mn+2		0.051	0.006
Mg+2		3.191	0.031
Ti+4		0.008	0.003
totVI		11.905	
K+1		0.005	0.004
Na+1		0.003	0.004
Ca+2		0.002	0.002
Totale		19.914	
Altot		5.709	0.032
AlVI+2Ti+Cr		2.954	0.036
Fe/Fe+Mg		0.642	0.004

TABELLA 9.32. Le cloriti delle metapeliti delle Highlands Scozzesi, località 3: statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione 67691.

SITO	->	1: Chl stat.-Ms		2: Chl stat.-Qtz		3: Chl a botte		4: Chl sinc.-Ms		Chl stat. 1+2	
		media (19)	dev.st.	media (9)	dev.st.	media (10)	dev.st.	media (18)	dev.st.	media (18)	dev.st.
Na2O		0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02	0.01	0.02
K2O		0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
MgO		8.90	0.12	9.02	0.10	9.21	0.25	8.94	0.14	8.94	0.12
FeO		32.84	0.32	32.57	0.30	32.84	0.27	32.53	0.55	32.75	0.32
Al2O3		22.23	0.23	21.84	0.15	21.93	0.36	21.97	0.26	22.10	0.23
CaO		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
SiO2		23.26	0.19	23.28	0.19	23.75	0.28	23.75	0.22	23.27	0.19
MnO		0.28	0.04	0.28	0.04	0.24	0.03	0.26	0.03	0.28	0.04
TiO2		0.06	0.02	0.06	0.02	0.06	0.03	0.11	0.09	0.06	0.02
Cr2O3		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
Totale		87.63	0.56	87.10	0.52	88.09	0.34	87.62	0.86	87.46	0.56
Si+4		5.131	0.030	5.163	0.026	5.203	0.052	5.223	0.032	5.142	0.030
AlIV		2.858	0.030	2.837	0.026	2.797	0.052	2.777	0.032	2.858	0.030
totIV		8.000		8.000		8.000		8.000		8.000	
AlVI		2.898	0.035	2.873	0.036	2.865	0.057	2.917	0.038	2.898	0.035
Cr+3		0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.005	0.006	0.003	0.003
Fe+2		6.053	0.038	6.042	0.033	6.017	0.052	5.983	0.072	6.053	0.038
Mn+2		0.053	0.007	0.052	0.007	0.045	0.005	0.049	0.005	0.053	0.007
Mg+2		2.944	0.039	2.983	0.035	3.008	0.077	2.931	0.040	2.944	0.039
Ti+4		0.010	0.003	0.011	0.003	0.009	0.004	0.017	0.014	0.010	0.003
totVI		11.961		11.964		11.948		11.902		11.961	
K+1		0.007	0.005	0.004	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003	0.007	0.005
Na+1		0.004	0.008	0.004	0.011	0.006	0.017	0.007	0.009	0.004	0.008
Ca+2		0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002
Totale		19.974		19.974		19.960		19.916		19.974	
Altot		5.757	0.050	5.709	0.040	5.662	0.099	5.694	0.045	5.757	0.050
AlVI+2Ti+Cr		2.921	0.033	2.897	0.037	2.887	0.057	2.957	0.044	2.921	0.033
Fe/Fe+Mg		0.673	0.004	0.670	0.003	0.667	0.007	0.671	0.005	0.673	0.004

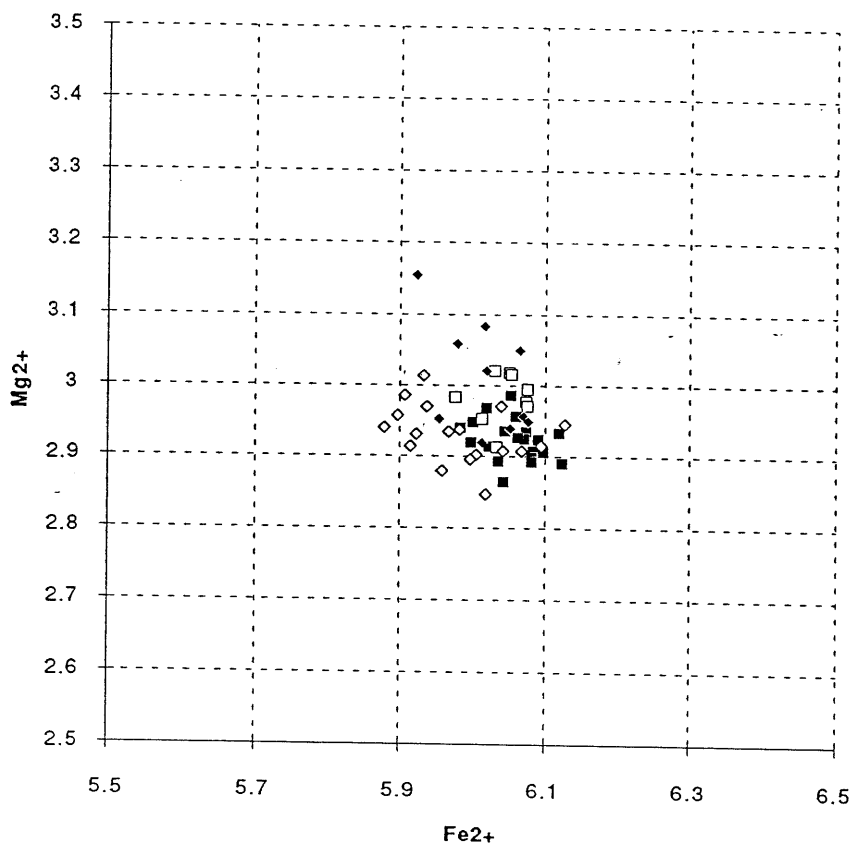
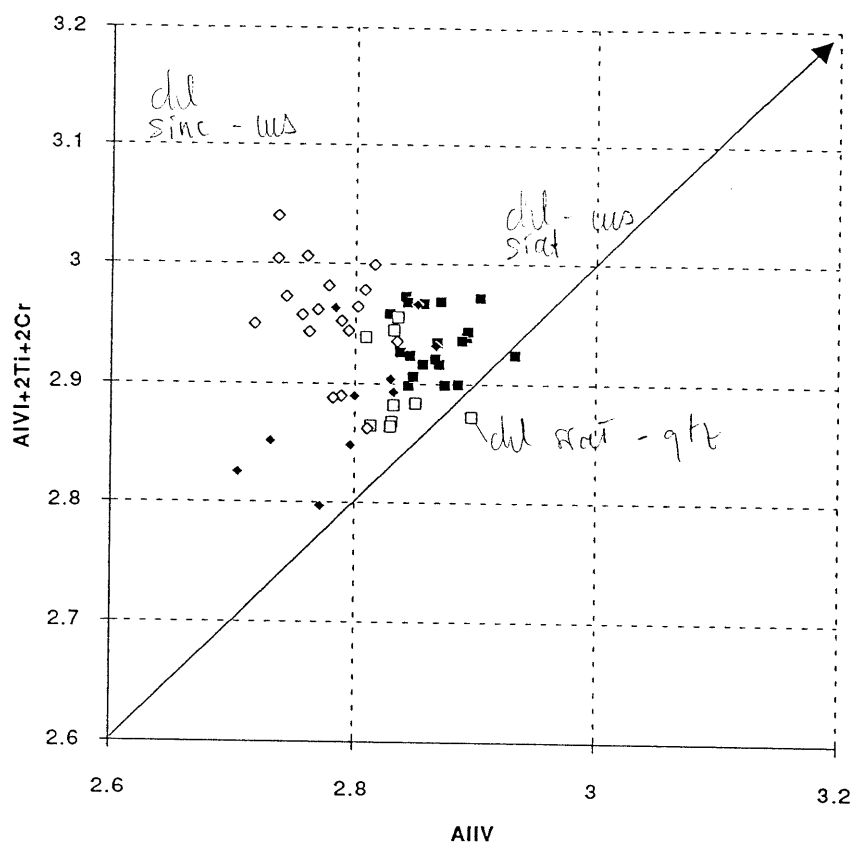


FIG. 9.53a,b. Le cloriti delle metapeliti delle Highlands Scozzesi, località 3 (campione 67691): differenze compositive tra lamelle di clorite in microsystemi diversi: Chl stat.-Ms (19 quadrati pieni) Chl stat.-Qtz (9 quadrati vuoti), Chl perp. (10 rombi pieni), Chl sinc.-Ms (18 rombi vuoti).

simili tra loro. Le cloriti_{perp.} del sito 3 (rombi pieni) invece presentano una maggiore dispersione per tutti i parametri chimici considerati, ed in particolare mostrano i valori minori della sostituzione TK e maggiori di Mg. Infine, le analisi relative alla clorite sincinemica del sito 4 (rombi vuoti) si differenziano rispetto alle cloriti statiche (quadrati) per un contenuto tschermakitico leggermente minore, una maggiore sostituzione diottaedrica ed un contenuto in Fe^{2+} spesso minore.

F) Tenuto conto del vario chimismo dei due campioni, di quello dei vari microsistemi considerati, è il campione 67694 quello da prendere in considerazione come rappresentativo per il chimismo delle cloriti di questa regione cristallizzate al passaggio fra la zona della biotite e quella dell'almandino. Va a tal proposito anche notato che tali cloriti risultano avere entità di sostituzione TK analoga a quella dei microsititi più alluminiferi ($\text{chl}_{\text{sinc.}}\text{-ms}$) del campione più arenaceo 67691.

9.4.1.3 Gruppi di alta temperatura.

LE CLORITI DELLE METAPELITI DEL PENNIDICO DEI TAURI :

1) IN VAL CESA ($n=39$)

A) Sono state effettuate 39 analisi su 4 lamelle di clorite del campione Brs 606.

B) I risultati delle analisi vengono presentati in FIG. 9.54a,b. Le cloriti di questo campione mostrano, nel complesso, una variabilità compositiva alquanto limitata, come si può dedurre dalla distribuzione dei punti rappresentativi nei due diagrammi.

C) Le cloriti di questo campione possono essere classificate in:

- i) chamositi magnesifere, secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) ripidoliti, secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 9.55a);
- iii) Fe-cloriti, tri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996), con formula schematica media $\text{X}_{25}\text{Mg}_{34}\text{Fe}_{41}$ (FIG. 9.55b).

D) Le lamelle di clorite analizzate sono localizzate in tre diversi siti microstrutturali:

- 1: "Chl-Grt-Ms" (20 analisi): si tratta di due lamelle di clorite parallele a S_2 , a contatto con granato almandino;
- 2: "Chl-Ms" (10 analisi): si tratta di una lamella di clorite parallela a S_2 , a contatto con muscovite;
- 3: "Chl-Ilm" (9 analisi): si tratta di una lamella di clorite cristallizzata in ombra di pressione a contatto con ilmenite.

E) Le statistiche dei dati chimici relativi alle cloriti nei vari siti vengono presentati in TAB. 9.33. Nei diagrammi di FIG. 9.56 vengono invece presentate tutte le analisi. Da

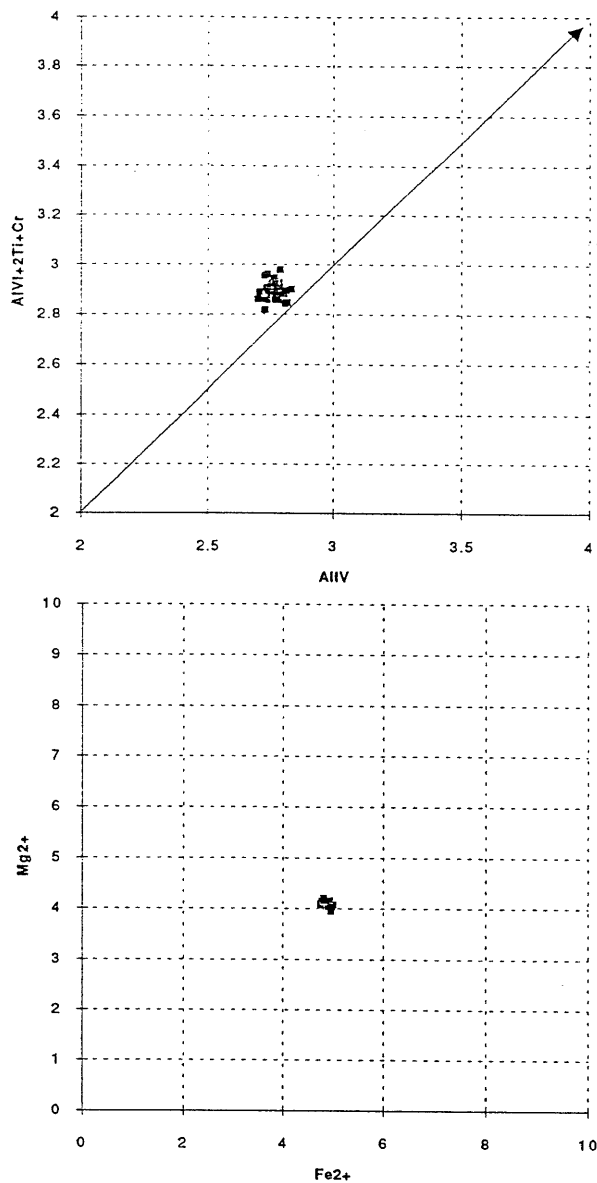


FIG. 9.54a,b. Le cloriti delle metapeliti del Pennidico dei Tauri, Val Cesa (39 analisi nel campione Brs606): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metapeliti.

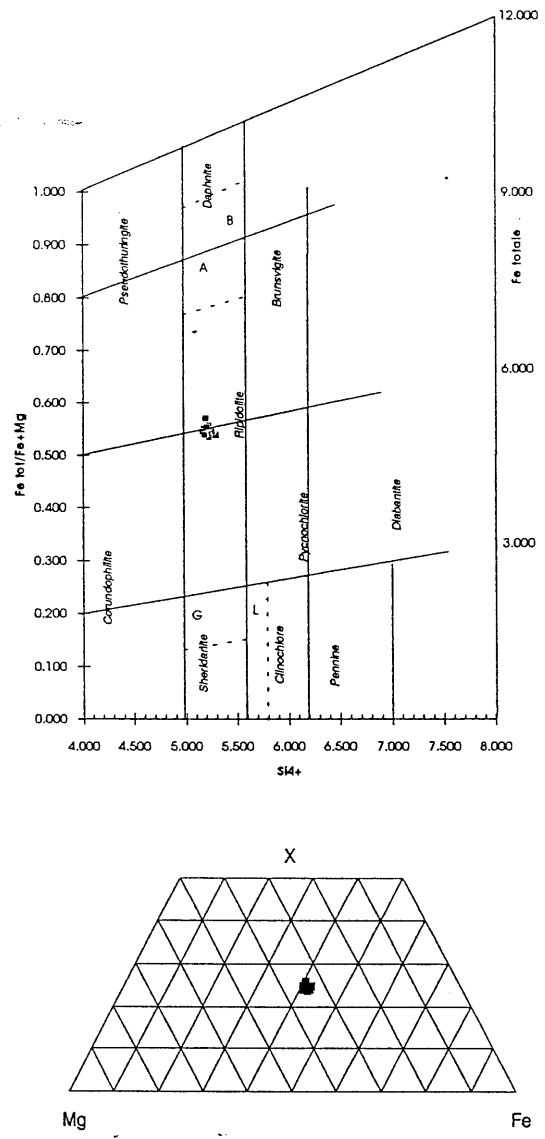


FIG. 9.55a,b. Le cloriti delle metapeliti del Pennidico dei Tauri, Val Cesa (39 analisi): nel campione Brs 606 a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996).

TABELLA 9.33. Le cloriti delle metapeliti del Pennidico dei Tauri, Val Cesa:
statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi nel campione Brs606.

SITO ->	1: Chl-Grt-Ms		2: Chl-Ms		3: Chl-Ilm		dati globali 1+2+3	
	media (20)	dev.st.	media (10)	dev.st.	media (9)	dev.st.	media (39)	dev.st.
Na ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
K ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO	12.85	0.17	12.82	0.19	12.78	0.25	12.87	0.18
FeO	27.13	0.34	27.27	0.37	27.39	0.44	27.24	0.36
Al ₂ O ₃	22.22	0.17	22.22	0.17	22.23	0.18	22.28	0.19
CaO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
SiO ₂	24.48	0.16	24.45	0.18	24.43	0.17	24.46	0.16
MnO	0.38	0.06	0.39	0.07	0.41	0.08	0.39	0.07
TiO ₂	0.06	0.01	0.08	0.05	0.13	0.11	0.11	0.10
Cr ₂ O ₃	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Totale	87.17	0.34	87.28	0.32	87.41	0.38	87.39	0.44
Si+4	5.250	0.027	5.242	0.031	5.234	0.028	5.235	0.030
AlIV	2.750	0.027	2.758	0.031	2.766	0.028	2.765	0.030
totIV	8.000		8.000		8.000		8.000	
AlVI	2.867	0.038	2.856	0.035	2.847	0.028	2.855	0.035
Cr+3	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Fe+2	4.865	0.056	4.889	0.065	4.907	0.078	4.875	0.059
Mn+2	0.069	0.011	0.072	0.013	0.074	0.014	0.071	0.013
Mg+2	4.109	0.050	4.098	0.061	4.081	0.084	4.107	0.054
Ti+4	0.010	0.002	0.013	0.008	0.020	0.017	0.018	0.015
totVI	11.923		11.931		11.931		11.929	
K+1	0.002	0.003	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002
Na+1	0.003	0.005	0.002	0.004	0.002	0.004	0.002	0.004
Ca+2	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.004	0.004
Totale	19.932		19.939		19.940		19.937	0.023
Altot	5.617	0.048	5.614	0.044	5.613	0.040	5.620	0.044
AlVI+2Ti+Cr	2.890	0.037	2.884	0.038	2.890	0.043	2.895	0.036
Fe/Fe+Mg	0.542	0.005	0.544	0.006	0.546	0.009	0.543	0.005

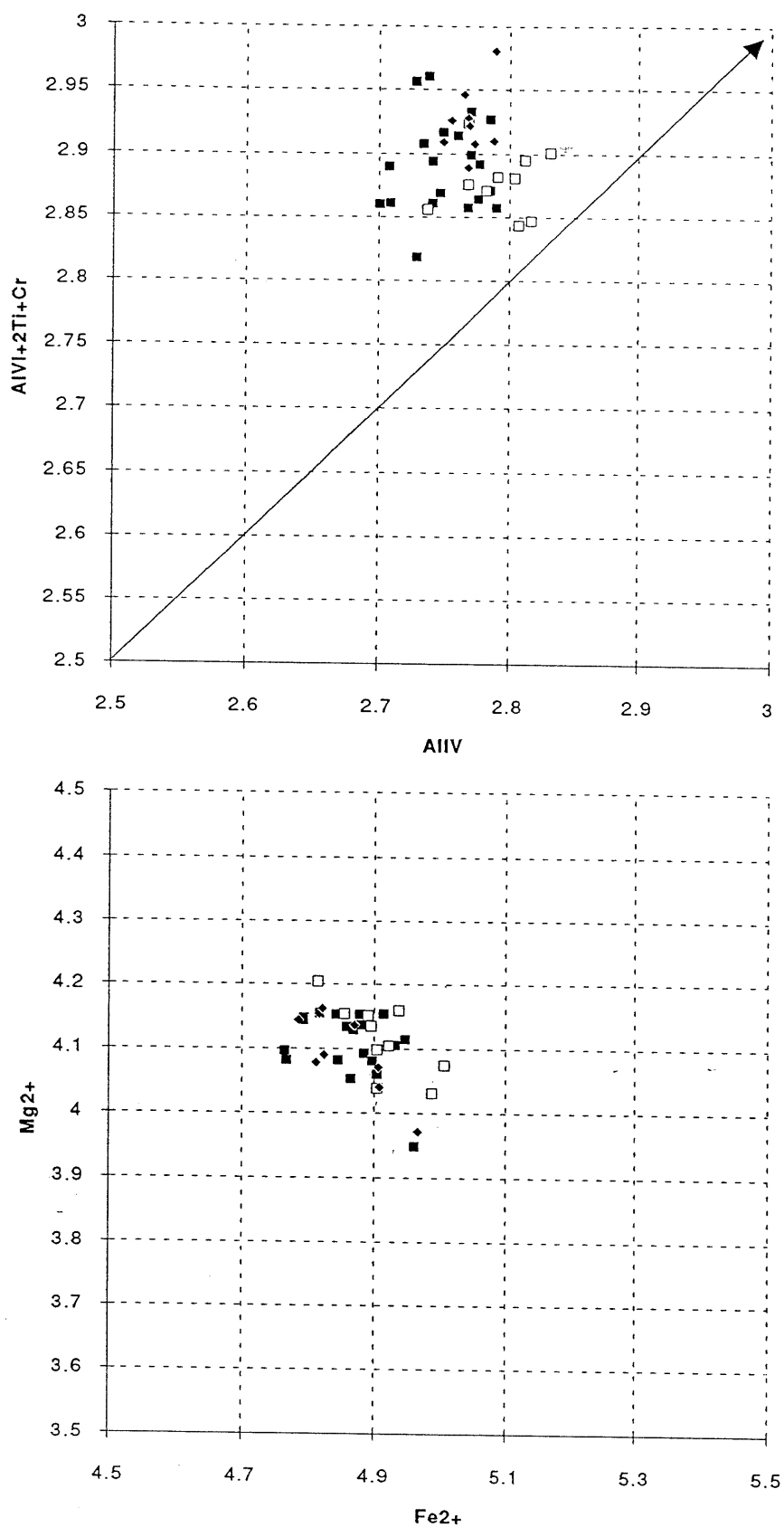


FIG. 9.56a,b. Le cloriti delle metapeliti del Pennidico dei Tauri, Val Cesa (campione Brs606): differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl-Grt-Ms (20 quadrati pieni), Chl-Ms (10 quadrati vuoti), Chl-Ilm (9 rombi pieni).

entrambe queste rappresentazioni risulta subito evidente che le lamelle analizzate risultano estremamente omogenee dal punto di vista compositivo (se si esclude il maggiore contenuto di Ti^{4+} nelle cloriti a contatto con ilmenite). Pertanto tutte le analisi sono state mediate nella colonna "dati globali" della TAB. 9. 33.

F) Vedasi punto F in paragrafo a pagina seguente.

2) IN VAL DI VIZZE

A) Sono state realizzate in totale 32 analisi, su 3 lamelle di clorite del campione 305.

B) Tutti i dati analitici ottenuti sono stati proiettati nei due diagrammi di FIG. 9.57, al fine di localizzarli nel campo compositivo convenzionale delle cloriti di metapeliti. Tutte queste cloriti sono affette sia da sostituzione TK che AK; tuttavia, la dispersione dei relativi punti rappresentativi è modesta, e, inoltre, ben evidente è che queste cloriti sono alquanto ricche in Mg.

C) Dal punto di vista classificativo queste cloriti possono essere classificate come:

- i) clinoclori ferriferi, secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) ripidoliti, secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG.9.58a);
- iii) Mg-clorititri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) con formula schematica media $\text{X}_{25}\text{Mg}_{39}\text{Fe}_{46}$ (FIG. 9.58b).

D) Le lamelle di clorite analizzate provengono dai seguenti siti:

- 1: "Chl-Bt" (22 analisi): si tratta di due lamelle di clorite non deformate, cristallizzate parallelamente a S1 in livelli lepidoblastici a contatto con biotite;
- 2: "Chl-Ms" (10 analisi): si tratta di una lamella di clorite non deformata, cristallizzata parallelamente a S1 in livelli lepidoblastici a contatto con muscovite.

E) La TAB. 9.34 presenta le analisi mediate relative alle cloriti dei diversi siti. Nella FIG. 9.59a,b tutte le analisi, differenziate per sito, sono state proiettate nei soliti diagrammi qui adottati per evidenziare l'entità delle sostituzioni chimiche. Non esistono differenze compositive significative tra cloriti dei siti 1 (quadrati pieni) e 2 (quadrati vuoti) anche se nel caso del sito 1 la variabilità di Fe^{2+} e Mg^{2+} è maggiore che nel sito 2. Pertanto tutti i dati sono stati mediati nella colonna "dati globali" della TAB. 9.34.

F) Anzitutto va considerato che non esistono differenze compositive sostanziali fra le cloriti analizzate del Pennidico in Val di Vizze e quelle della Val di Cesa (se non per il rapporto Fe/Mg). Tenuto conto di ciò ritengo che le cloriti più rappresentative per il metamorfismo della zona dell'almandino nel Pennidico dei Tauri siano quelle del sito 1 nella Val di Vizze. Esse infatti si trovano in associazione quasi limitante perché sono a

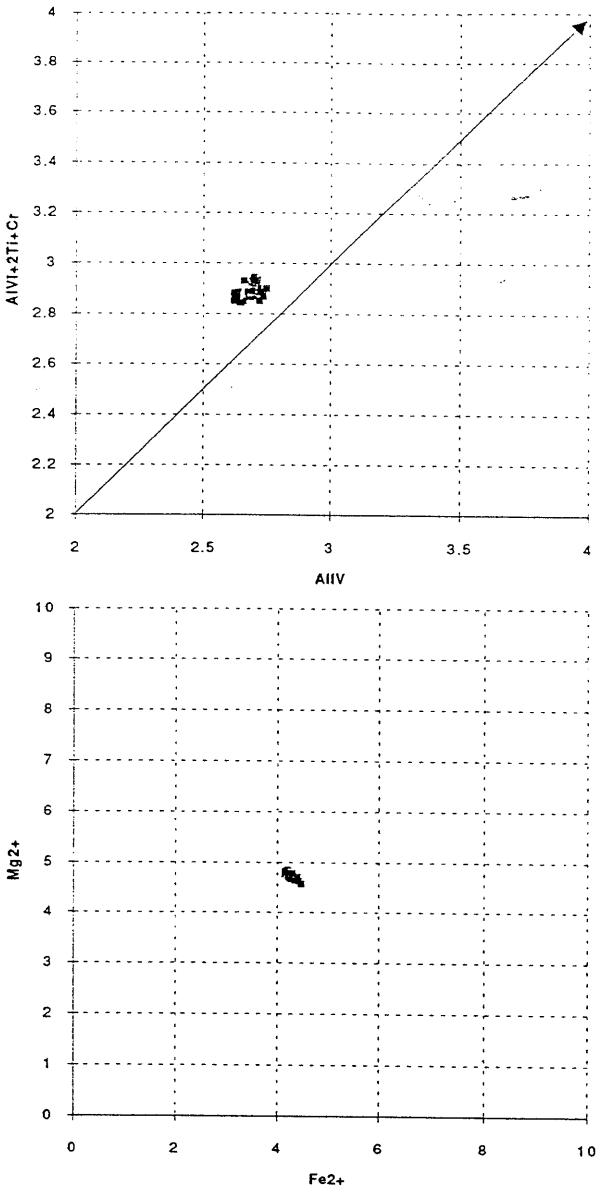


FIG. 9.57a,b. Le cloriti delle metapeliti del Pennidico dei Tauri, Val di Vizze: (32 analisi nel campione 305): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metapeliti.

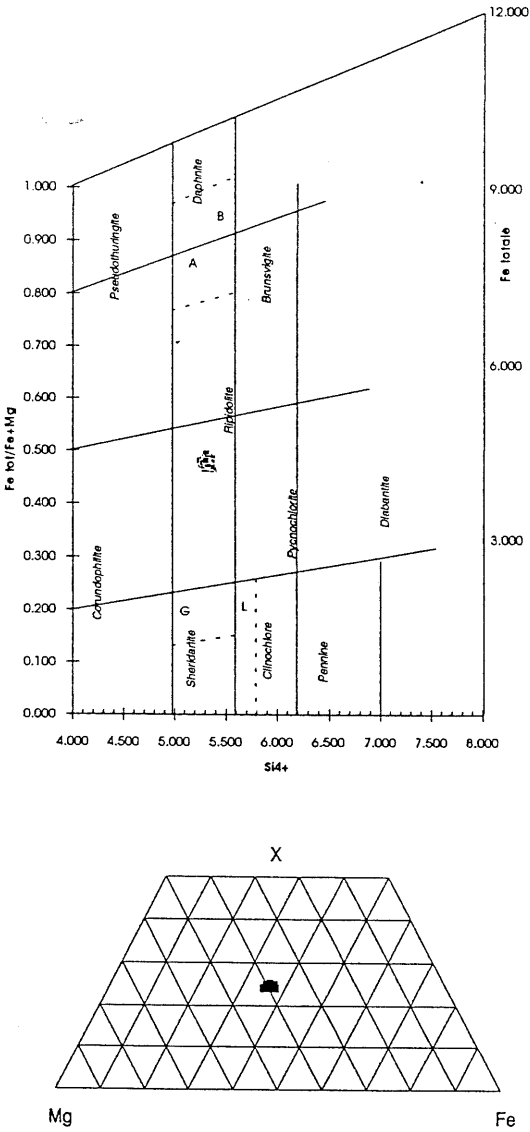


FIG. 9.58a,b. Le cloriti delle metapeliti del Pennidico dei Tauri nella Val di Vizze (32 analisi): nel campione 305 a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996).

TABELLA 9.34. Le clorit delle metapeliti del Pennidico dei Tauri, Val di Vizze: statistiche dei contenuti chimici di clorit di vari microsistemi nel campione 305.

SITO	->	1: Chl-Bt		2: Chl-Ms		dati globali 1+2	
		media (22)	dev.st.	media (10)	dev.st.	media (32)	dev.st.
Na ₂ O		0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
K ₂ O		0.04	0.04	0.04	0.02	0.04	0.03
MgO		14.98	0.25	15.31	0.23	15.08	0.29
FeO		24.42	0.44	24.04	0.22	24.30	0.42
Al ₂ O ₃		22.41	0.29	22.28	0.26	22.37	0.28
CaO		0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
SiO ₂		25.26	0.14	25.45	0.27	25.32	0.21
MnO		0.11	0.03	0.12	0.03	0.12	0.03
TiO ₂		0.09	0.02	0.11	0.02	0.09	0.02
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
Totale		87.34	0.42	87.38	0.45	87.35	0.42
Si+4		5.311	0.027	5.336	0.041	5.319	0.034
AlIV		2.689	0.027	2.664	0.041	2.681	0.034
totIV		8.000		8.000		8.000	
AlVI		2.864	0.034	2.841	0.037	2.857	0.036
Cr+3		0.003	0.003	0.005	0.004	0.004	0.004
Fe+2		4.294	0.085	4.215	0.036	4.269	0.082
Mn+2		0.020	0.006	0.021	0.005	0.021	0.005
Mg+2		4.696	0.062	4.784	0.061	4.723	0.073
Ti+4		0.014	0.004	0.017	0.003	0.015	0.004
totVI		11.891		11.884		11.888	
K+1		0.009	0.011	0.010	0.005	0.010	0.009
Na+1		0.000	0.001	0.003	0.004	0.001	0.003
Ca+2		0.002	0.002	0.003	0.004	0.002	0.003
Totale		19.902		19.899		19.901	
Altot		5.553	0.049	5.505	0.070	5.538	0.059
AlVI+2Ti+Cr		2.895	0.029	2.880	0.036	2.890	0.031
Fe/Fe+Mg		0.478	0.008	0.469	0.005	0.475	0.008

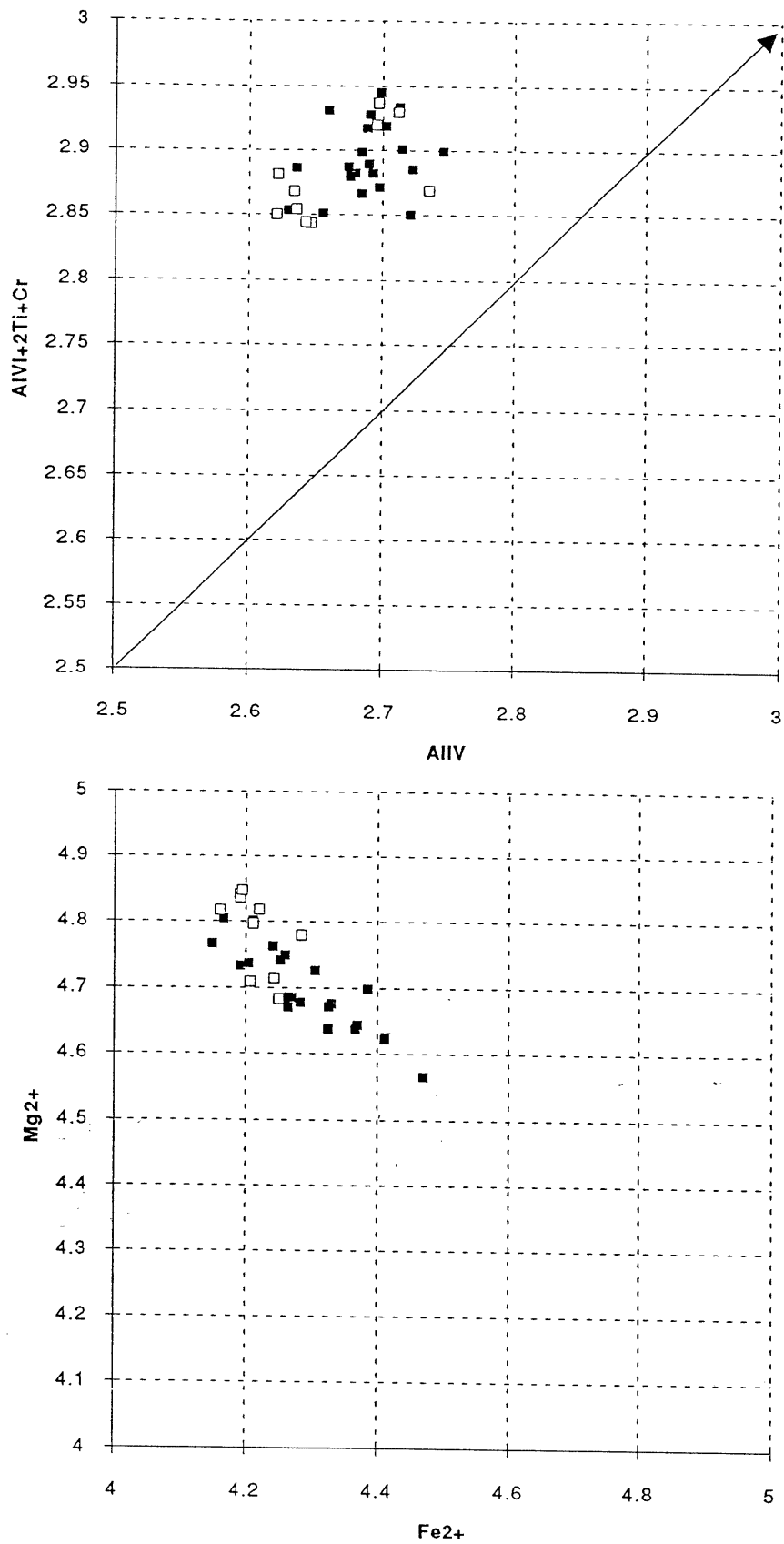


FIG. 9.59a,b. Le cloriti delle metapeliti del Pennidico dei Tauri, Val di Vizze: nel campione 305, differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl-Bt (22 quadrati pieni), Chl-Ms (10 quadrati vuoti).

contatto con biotite in letto granatifero.

9.4.2 Cloriti di metabasiti

9.4.2.1 Gruppi di bassa temperatura

LE CLORITI DELLE METABASITI DELLE HIGHLANDS SCOZZESI:

1) HIGHLANDS CENTRALI : LOCALITA' 4 (n=82)

A) Sono state effettuate 82 analisi su 7 lamelle di clorite nei campioni 4/1B e 4/2B.

B) Nei diagrammi di FIG. 9.60a,b sono state proiettate tutte le analisi effettuate, suddivise per campione. La dispersione dei punti nell'ambito di ciascun campione è alquanto limitata. Sono invece evidenti, anche se non enormi, differenze compositive tra i due campioni: le cloriti del campione 4/1B hanno una maggiore sostituzione diottaedrica (AM), una maggiore sostituzione TK ed un maggiore contenuto in Mg.

C) Per quanto riguarda la classificazione queste cloriti vanno classificate come segue:

- i) secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980), clinoclori feriferi quelle del campione 4/1B, chamositi magnesifere quelle del campione 4/2B;
- ii) ripidoliti, secondo il diagramma classificativo di HEY (1954), con qualche punto analisi che cade però nel campo delle picnocloriti (4/1B, 4/2B) (FIG. 9.61a);
- iii) secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) (FIG. 9.61b), Mg-cloriti tri-triottaedriche con formula schematica media $X_{22}Mg_{43}Fe_{35}$ quelle del campione 4/1B, Fe-cloriti con formula schematica media $X_{21}Mg_{39}Fe_{40}$ quelle del campione 4/2B.

D1, E1) Nel campione 4/1B, la clorite studiata è cristallizzata in siti microstrutturali del tipo "Chl-Ms" (44 analisi): si tratta di quattro lamelle di clorite parallele a S_1 , situate nei letti lepidoblastici a contatto con mica chiara.

La TAB. 9.35 riporta i dati statistici riassuntivi di tutte le analisi effettuate nel campione 4/1B.

D2, E2) Anche nel campione 4/2B le lamelle di clorite analizzate sono tutte situate in siti microstrutturali analoghi. Essi sono del tipo "Chl-Ms-Qtz-Ab" (40 analisi): si tratta di tre lamelle di clorite cristallizzate in aggregati a struttura decussata, a contatto con mica chiara, quarzo ed albite.

E) Le analisi mediate delle cloriti del campione 4/2B vengono presentate nella TAB. 9.36.

F) Vedasi punto F alla pagina seguente.

2) HIGHLANDS OCCIDENTALI: LOCALITA' 2 (n=32)

A) Le analisi effettuate nel campione 6965 sono state complessivamente 32 su 3 lamelle

TABELLA 9.35. Le cloriti delle metabasiti
delle Highlands Scozzesi, località 4:
statistiche dei contenuti chimici
nel campione 4/1B.

SITO	->	Chl-Ms-Ab-Qz
		media (44) dev.st.
Na ₂ O		0.01 0.01
K ₂ O		0.01 0.01
MgO		16.55 0.20
FeO		23.74 0.29
Al ₂ O ₃		20.06 0.14
CaO		0.03 0.02
SiO ₂		26.44 0.18
MnO		0.34 0.04
TiO ₂		0.04 0.02
Cr ₂ O ₃		0.08 0.04
Totale		87.29 0.46
Si+4		5.552 0.024
Al ^{IV}		2.448 0.024
tot ^{IV}		8.000
Al ^{VI}		2.516 0.027
Cr+3		0.013 0.007
Fe+2		4.168 0.045
Mn+2		0.061 0.008
Mg+2		5.182 0.052
Ti+4		0.006 0.003
tot ^{VI}		11.945
K+1		0.003 0.003
Na+1		0.003 0.005
Ca+2		0.006 0.004
Totale		19.957
Altot		4.964 0.034
Al ^{VI} +2Ti+Cr		2.540 0.029
Fe/Fe+Mg		0.446 0.005

TABELLA 9.36. Le cloriti delle metabasiti
delle Highlands Scozzesi, località 4:
statistiche dei contenuti chimici.
nel campione 4/2B.

SITO	->	Chl-Ms-Ab-Qtz
		media (40) dev.st.
Na ₂ O		0.00 0.01
K ₂ O		0.01 0.01
MgO		14.59 0.22
FeO		26.75 0.27
Al ₂ O ₃		19.33 0.23
CaO		0.01 0.01
SiO ₂		25.92 0.21
MnO		0.36 0.03
TiO ₂		0.04 0.02
Cr ₂ O ₃		0.05 0.03
Totale		87.06 0.51
Si+4		5.558 0.025
Al ^{IV}		2.442 0.025
tot ^{IV}		8.000
Al ^{VI}		2.443 0.037
Cr+3		0.008 0.005
Fe+2		4.797 0.052
Mn+2		0.066 0.005
Mg+2		4.665 0.056
Ti+4		0.007 0.003
tot ^{VI}		11.984
K+1		0.002 0.003
Na+1		0.002 0.003
Ca+2		0.003 0.003
Totale		19.991
Altot		4.884 0.048
Al ^{VI} +2Ti+Cr		2.463 0.039
Fe/Fe+Mg		0.507 0.005

di clorite.

B) L'area compositiva occupata dalle cloriti di questo campione viene presentato in FIG. 9.62a,b. Anche in questo caso, come nelle metabasiti delle Highlands Scozzesi della località 4, la variabilità chimica tra lamelle dello stesso campione risulta limitata. Le cloriti del campione 6965 si differenziano invece da quelle dei campioni 4/1B e 4/2B in quanto presentano sia una maggiore sostituzione $MgFe_{-1}$ (FIG. 9.62b), sia un contenuto di Al^{IV} maggiore della somma $Al^{VI}+2Ti+Cr$, e quindi la localizzazione dei punti al di sotto della freccia in FIG. 9.62a. Quest'ultima circostanza suggerisce la presenza, nei siti ottaedrici, di altri trivalenti diversi dall' Al^{VI} , verosimilmente Fe^{3+} . In effetti, dalla differenza tra $Al^{VI}+2Ti+Cr$ e Al^{IV} risulta una quantità di ferro trivalente per le cloriti del campione 6965 pari a circa l'1% rispetto al Fe_{tot} .

C) Le cloriti di questa metabasite possono essere classificate come:

- i) clinoclori ferriferi, secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) secondo il diagramma classificativo di HEY (1954), per lo più ripidoliti, anche se alcune analisi cadono nel campo compositivo delle picnocloriti (FIG. 9.63a);
- iii) Mg-cloritriti-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) (FIG. 9.63b), con formula schematica media $X_{20}Mg_{45}Fe_{35}$.

D) Le lamelle di clorite analizzate risultano cristallizzate in siti microstrutturali analoghi, del tipo: "Chl-Act-Ab-Ep" (32 analisi): si tratta di tre lamelle di clorite prive di orientazione preferenziale, cristallizzate a contatto con actinolite, albite, epidoto.

E) In TAB. 9.37 vengono fornite le medie e le deviazioni standard relative a tutte le 32 analisi.

F) Per proporre il chimismo medio delle cloriti di questo grado metamorfico in questa regione abbiamo a disposizione tre sottopopolazioni di analisi numericamente circa equivalenti, e che mostrano modeste differenze compositive almeno per quanto riguarda i parametri chimici relativi alla sostituzione TK, e in parte anche per quanto riguarda le sostituzioni AM e FM. Da questa constatazione potrebbe derivare l'idea di fare un'unica media. Tuttavia riteniamo più prudente non mescolare dati relativi alle Highlands Occidentali con quelli relativi alle Highlands Centrali per le differenze di pressione riconosciute fra i due siti. Pertanto consideriamo il chimismo medio delle cloriti in località 2 come rappresentativo per le Highlands Occidentali, per le quali la pressione è di transizione fra quella cosiddetta intermedia, oggetto del paragrafo 9.4, e quella di alta pressione di cui si parlerà nel cap. 9.5 (es. Fettes *et al.*, 1976).

Quindi per la pressione intermedia consideriamo rappresentativo il chimismo medio

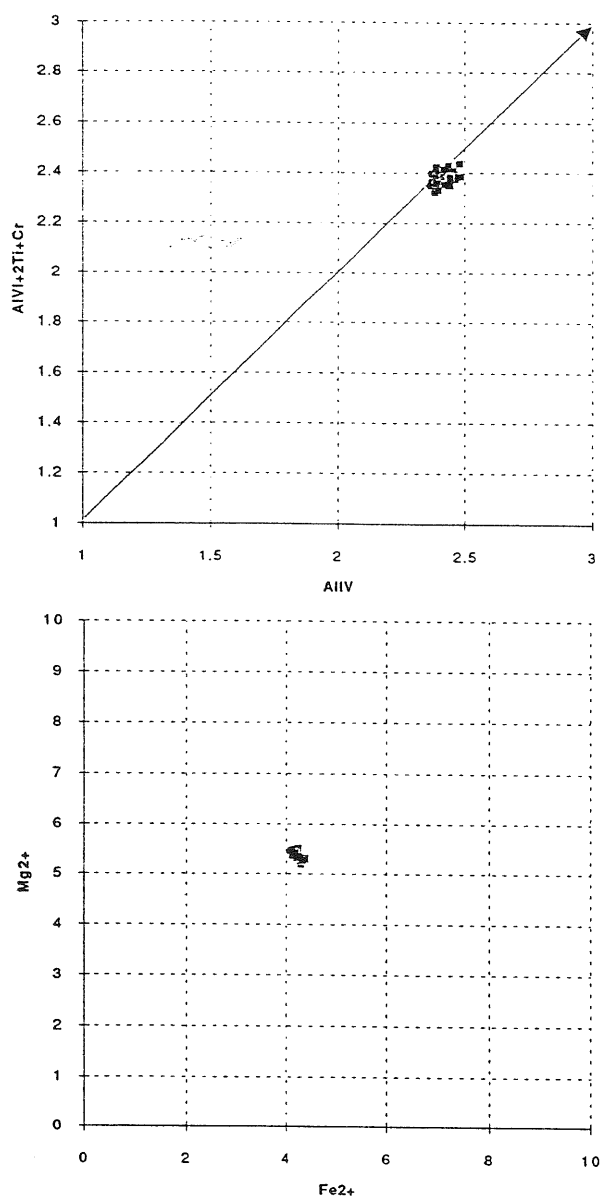


FIG. 9.62a,b. Le cloriti delle metabasiti delle Highlands Scozzesi, località 2 (32 analisi nel campione 6965): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metabasiti.

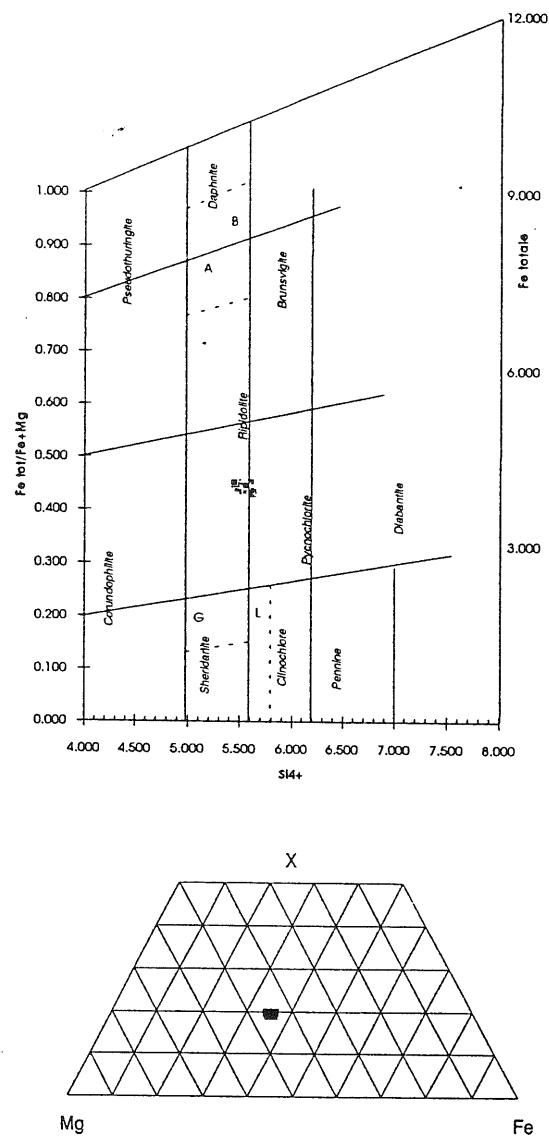


FIG. 9.63a,b. Le cloriti delle metabasiti delle Highlands Scozzesi, località 2 (32 analisi): nel campione 6965 a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996).

TABELLA 9.37. Le cloriti delle metabasiti
delle Highlands Scozzesi, località 2:
statistiche dei contenuti chimici
nel campione 6965.

SITO	->	Chl-Act-Ab-Ep	
		media (32)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01
K ₂ O		0.01	0.01
MgO		17.22	0.27
FeO		23.89	0.36
Al ₂ O ₃		19.38	0.25
CaO		0.03	0.03
SiO ₂		26.58	0.31
MnO		0.33	0.04
TiO ₂		0.05	0.02
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02
Totale		87.51	0.68
Si+4		5.574	0.040
Al ^{IV}		2.426	0.040
tot ^{IV}		8.000	
Al ^{VI}		2.362	0.027
Cr+3		0.002	0.004
Fe+2		4.193	0.059
Mn+2		0.059	0.006
Mg+2		5.390	0.065
Ti+4		0.008	0.003
tot ^{VI}		12.014	
K+1		0.001	0.003
Na+1		0.003	0.005
Ca+2		0.007	0.007
Totale		20.025	
Al ^{tot}		4.788	0.057
Al ^{VI} +2Ti+Cr		2.379	0.028
Fe/Fe+Mg		0.438	0.006

della clorite della località 4, ma limitatamente al campione 4/1B (TAB. 9.35) in quanto meglio cristallizzato del campione 4/2B che, oltre ad essere a grana molto minuta, contiene nella paragenesi metamorfica significative quantità di calcite.

9.4.2.1 Gruppi di alta temperatura

LE CLORITI DELLE METABASITI DEL PENNIDICO DEI TAURI IN VAL DI VIZZE ($n=60$)

A) Sono stati effettuati in totale 60 punti analisi, su 6 lamelle di clorite nei campioni 340, 527b.

B) Nei diagrammi di FIG. 9.64a,b vengono riportate tutte le analisi, suddivise per campione. La variabilità chimica all'interno di ciascun campione è alquanto limitata, come evidenziato dalla piccola dispersione dei punti rappresentativi, mentre si notano delle differenze compositive tra le cloriti di campioni diversi. Più precisamente le cloriti del campione 527b (quadrati vuoti) presentano una maggiore sostituzione AM ed un maggiore contenuto di Fe rispetto alle cloriti del campione 340 (quadrati pieni). La sostituzione tschermakitica avviene invece in misura grossomodo confrontabile nelle cloriti di entrambi i campioni.

C) Tutte le cloriti qui studiate possono essere classificate come:

- i) clinoclori ferriferi, secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) ripidoliti, secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 9.65a);
- iii) Mg-clorititri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) (FIG. 9.65b), con formula schematica media $X_{21}Mg_{55}Fe_{24}$ per quelle del campione 340, e $X_{23}Mg_{51}Fe_{26}$ per quelle del campione 527b.

D) Nei campioni 527b (37 analisi) e 340 (30 analisi) le lamelle studiate provengono da siti microstrutturali analoghi, del tipo "Chl-Hbl-Pl-Ep": si tratta cioè di clorite cristallizzata lungo i piani di scistosità, a contatto con anfibolo, epidoto, plagioclasio.

E) I dati chimici riassuntivi presentati nelle TAB. 9.38 e TAB. 9.39 si riferiscono pertanto all'insieme di tutte le analisi.

F) Tenendo conto del fatto che il campione 340 contiene parecchia calcite e sporadici minerali opachi, ritengo che il campione 527b abbia chimismo globale più confrontabile con quello delle altre metabasiti da me considerate. Nell'ambito di questo assunto il chimismo della clorite di questa regione per questa zona termica, verrà rappresentato dal chimismo medio delle cloriti del campione 527b (TAB. 9.39).

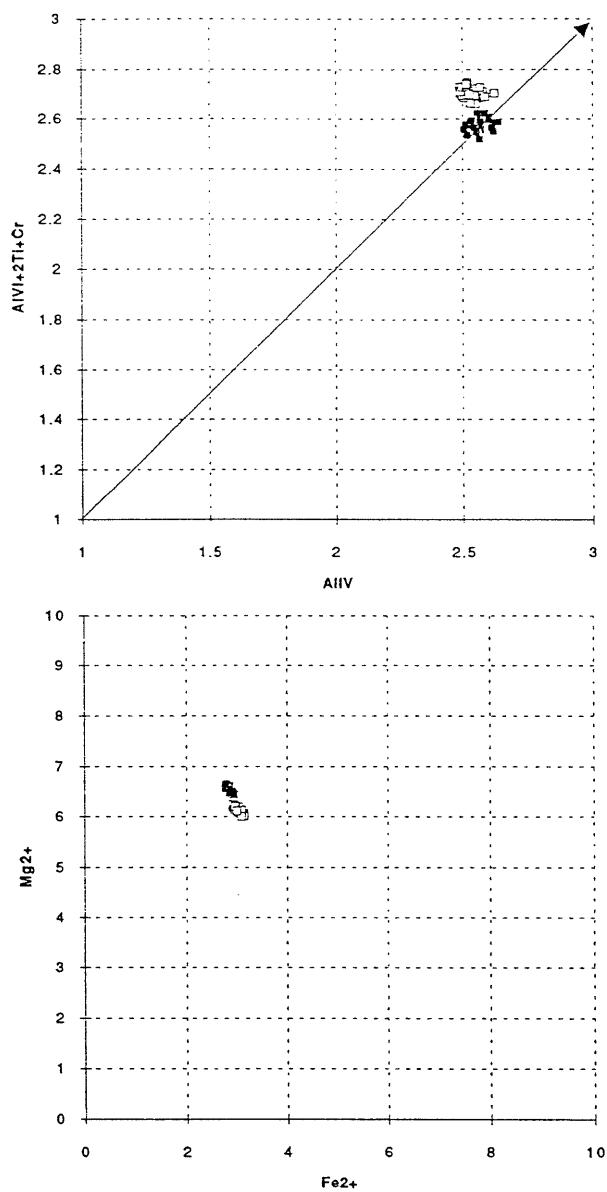


FIG. 9.64a,b. Le cloriti delle metabasiti del Pennidico dei Tauri, Val di Vizze (67 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metabasiti. Campioni: 340 (quadrati pieni), 527b (quadrati vuoti).

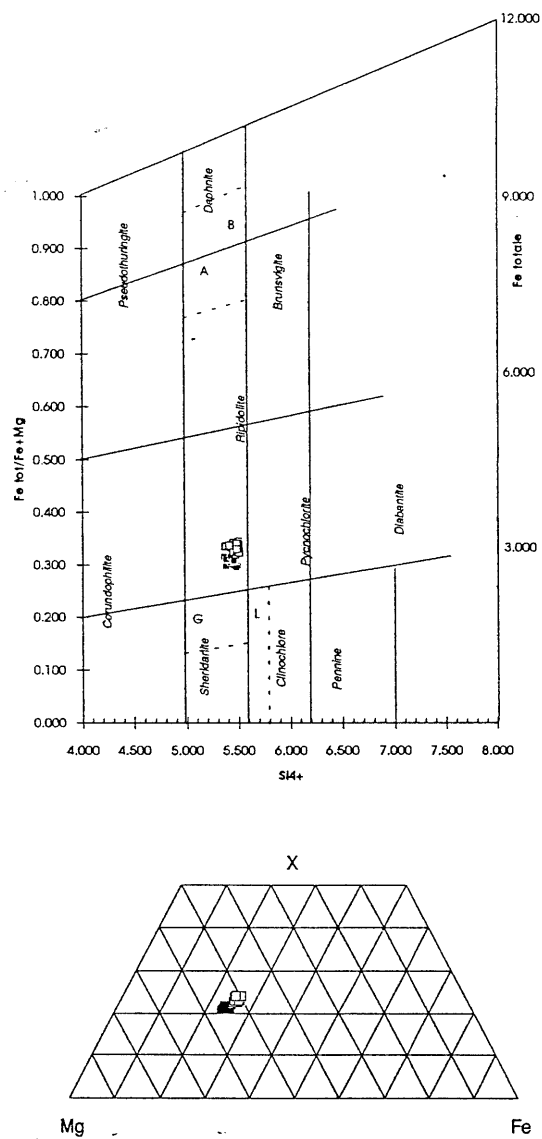


FIG. 9.65a,b. Le cloriti delle metabasiti del Pennidico dei Tauri, Val di Vizze (67 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996). Simboli come in FIG. 9.62.

TABELLA 9.38. Le cloriti delle metabasiti
del Pennidico dei Tauri, Val di Vizze:
statistiche dei contenuti chimici
nel campione 340.

SITO	->	Chl-Hbl-Pl-Ep
		media (30) dev.st.
Na ₂ O		0.00 0.01
K ₂ O		0.01 0.01
MgO		21.56 0.26
FeO		16.87 0.32
Al ₂ O ₃		21.38 0.20
CaO		0.04 0.02
SiO ₂		26.80 0.22
MnO		0.19 0.03
TiO ₂		0.07 0.02
Cr ₂ O ₃		0.06 0.03
Totale		86.98 0.41
Si+4		5.437 0.034
Al ^{IV}		2.563 0.034
tot ^{IV}		8.000
Al ^{VI}		2.547 0.024
Cr+3		0.010 0.005
Fe+2		2.862 0.055
Mn+2		0.033 0.006
Mg+2		6.520 0.071
Ti+4		0.010 0.002
tot ^{VI}		11.983
K+1		0.001 0.002
Na+1		0.001 0.003
Ca+2		0.009 0.004
Totale		19.994
Altot		5.111 0.044
Al ^{VI} +2Ti+Cr		2.578 0.025
Fe/Fe+Mg		0.305 0.006

TABELLA 9.39. Le cloriti delle metabasiti
del Pennidico dei Tauri, Val di Vizze:
statistiche dei contenuti chimici
nel campione 527b.

SITO	->	Chl-Hbl-Pl-Ep
		media (37) dev.st.
Na ₂ O		0.01 0.01
K ₂ O		0.01 0.01
MgO		20.25 0.24
FeO		17.90 0.40
Al ₂ O ₃		21.72 0.22
CaO		0.04 0.02
SiO ₂		26.92 0.17
MnO		0.22 0.03
TiO ₂		0.07 0.02
Cr ₂ O ₃		0.07 0.04
Totale		87.20 0.52
Si+4		5.469 0.032
Al ^{IV}		2.531 0.032
tot ^{IV}		8.000
Al ^{VI}		2.669 0.025
Cr+3		0.011 0.006
Fe+2		3.042 0.066
Mn+2		0.037 0.006
Mg+2		6.133 0.064
Ti+4		0.011 0.003
tot ^{VI}		11.904
K+1		0.002 0.002
Na+1		0.002 0.004
Ca+2		0.008 0.005
Totale		19.916
Altot		5.201 0.034
Al ^{VI} +2Ti+Cr		2.703 0.023
Fe/Fe+Mg		0.332 0.007

9.5 CHIMISMO DELLE CLORITI DI ALTA PRESSIONE

9.5.1 Cloriti di metapeliti.

9.5.1.1 Gruppo di bassa temperatura

LE CLORITI DELLE METAPELITI DI ROC DE LA VALETTE ($n=36$)

- A) Sono state effettuate 36 analisi su 4 lamelle di clorite nel campione VAL 31.
- B) Le cloriti di questo campione (FIG. 9.69a,b) si caratterizzano per una elevata dispersione dei punti rappresentativi lungo la direzione indicante la sostituzione AM ed una discreta dispersione di tali punti lungo la direzione che rappresenta la sostituzione FM. L'intervallo di variazione della sostituzione TK risulta invece abbastanza limitato.
- C) Tale variabilità compositiva risulta evidente anche nei diagrammi classificativi di FIG. 9.70a,b. Queste cloriti possono essere classificate come:
- i) chamositi magnesifere secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
 - ii) ripidoliti secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 9.70a);
 - iii) Fe-cloriti tri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) (FIG. 9.70b), con formula schematica media $X_{24}Mg_{31}Fe_{45}$.
- D) Le quattro lamelle analizzate provengono dai seguenti diversi tipi di siti microstrutturali:
- 1: "Chl perp.-Ms" (10 analisi): si tratta di una lamella di clorite cristallizzata perpendicolarmente a S_2 , a contatto con muscovite;
 - 2, 3, 4: "Chl-Ms" (26 analisi): si tratta di tre lamelle di clorite trasversali rispetto a S_2 , a contatto con muscovite, di dimensioni maggiori rispetto a quella della massa di fondo.
- E) Data la variabilità chimica presentata dalla clorite di questo campione (FIG. 9.69a,b) le analisi relative alle tre singole lamelle del sito 2 ("Chl-Ms") sono state tenute separate. In TAB. 9.41 vengono presentate sia le statistiche che i dati chimici per ciascuna lamella, sia una statistica globale. Tutte le analisi riferibili alle tre lamelle sono rappresentate, con simboli diversi, in FIG. 9.71a,b. La grana estremamente fine e le difficoltà di lucidatura riscontrate in questo campione, non hanno permesso l'acquisizione di molti dati; tuttavia sono possibili alcune osservazioni. La clorite del sito 1 (quadrati pieni) non mostra variazioni compositive sistematiche rispetto alla clorite cristallizzata nel sito 2 (tutti i simboli vuoti), in quanto i suoi punti rappresentativi cadono all'interno dell'area di distribuzione complessiva di tutte le analisi sia in FIG. 9.71a, che in FIG. 9.71b: essi tuttavia risultano concentrati verso i valori di più alto contenuto tschermakitico. Le tre lamelle di clorite che per analogia di localizzazione microstrutturale sono rappresentate con simboli vuoti di forme diverse, presentano pronunciate differenze l'una rispetto

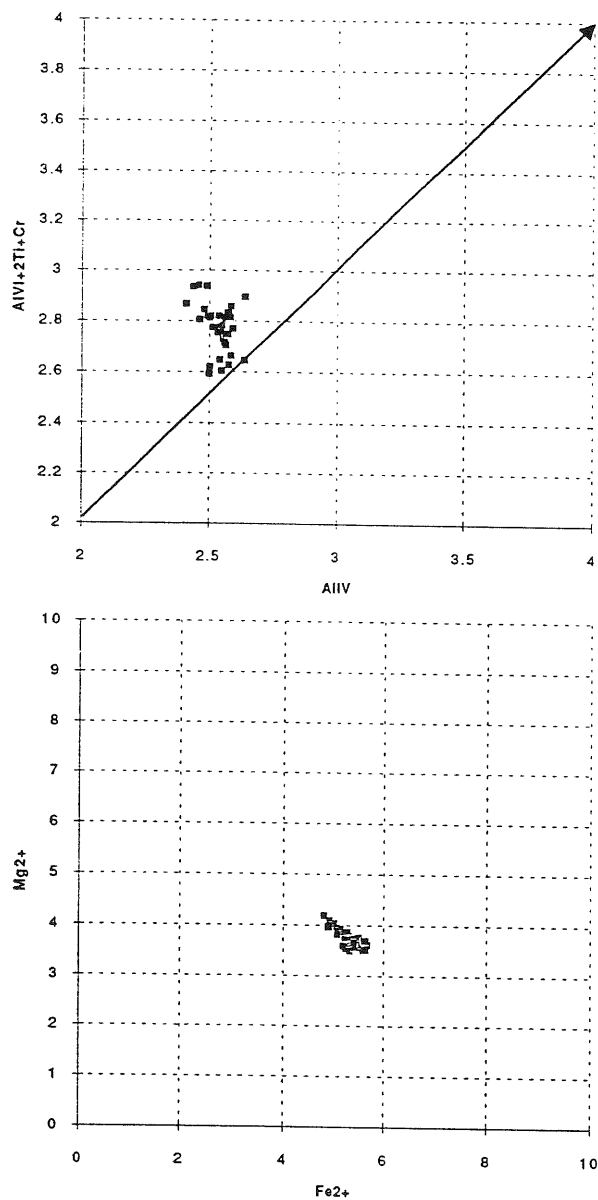


FIG. 9.69a,b. Le cloriti delle metapeliti di Roc de la Valette (36 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metapeliti.

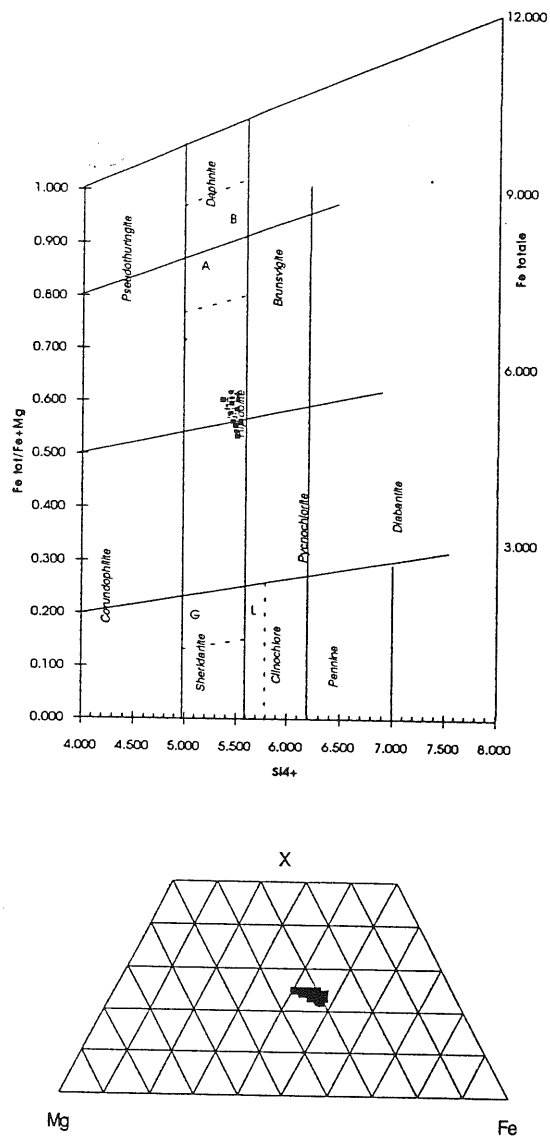


FIG. 9.70a,b. Le cloriti delle metapeliti di Roc de la Valette (36 analisi) a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996).

TABELLA 9. 41. Le cloriti delle metapeliti di Roc de la Valette (36 analisi): statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsystemi.

SITO	1: Chl perp-Ms		2: Chl1-Ms		3: Chl2-Ms		4: Chl3-Ms		dati globali 1+2+3+4	
	media(10)	dev.st.	media(6)	dev.st.	media (9)	dev.st.	media (11)	dev.st.	media(36)	dev.st.
Na2O	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
K2O	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
MgO	11.66	0.30	12.49	0.39	10.96	0.23	11.17	0.17	11.47	0.59
FeO	29.22	0.41	27.65	0.56	30.48	0.22	30.16	0.52	29.56	1.08
Al2O3	20.92	0.28	20.78	0.17	20.49	0.18	20.28	0.55	20.59	0.43
CaO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
SiO2	25.14	0.18	25.43	0.16	24.94	0.20	24.76	0.23	25.02	0.30
MnO	0.23	0.02	0.19	0.04	0.26	0.04	0.23	0.03	0.23	0.04
TiO2	0.04	0.02	0.04	0.01	0.06	0.03	0.03	0.02	0.04	0.02
Cr2O3	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Totale	87.27	0.37	86.64	0.29	87.27	0.56	86.67	0.28	86.98	0.49
Si+4	5.440	0.027	5.493	0.026	5.443	0.015	5.436	0.046	5.448	0.037
AlIV	2.560	0.027	2.507	0.026	2.557	0.015	2.564	0.046	2.552	0.037
totIV	8.000		8.000		8.000		8.000		8.000	
AlVI	2.775	0.046	2.784	0.017	2.713	0.018	2.684	0.105	2.733	0.075
Cr+3	0.003	0.002	0.004	0.002	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003
Fe+2	5.288	0.088	4.995	0.120	5.563	0.052	5.539	0.107	5.384	0.229
Mn+2	0.042	0.004	0.035	0.007	0.048	0.007	0.043	0.005	0.043	0.007
Mg+2	3.763	0.088	4.022	0.106	3.565	0.057	3.655	0.058	3.724	0.170
Ti+4	0.006	0.003	0.007	0.002	0.010	0.004	0.005	0.003	0.007	0.003
totVI	11.876		11.847		11.903		11.929		11.894	
K+1	0.008	0.006	0.007	0.004	0.007	0.005	0.002	0.002	0.006	0.005
Na+1	0.003	0.004	0.000	0.000	0.003	0.005	0.000	0.001	0.002	0.003
Ca+2	0.003	0.003	0.001	0.002	0.003	0.002	0.004	0.003	0.003	0.003
Totale	19.891		19.855		19.915		19.935		19.904	
Altot	5.335	0.058	5.291	0.030	5.270	0.019	5.248	0.133	5.285	0.085
AlVI+2Ti+Cr	2.790	0.043	2.803	0.021	2.736	0.021	2.697	0.103	2.750	0.074
Fe/Fe+Mg	0.584	0.009	0.554	0.012	0.609	0.006	0.602	0.004	0.591	0.021

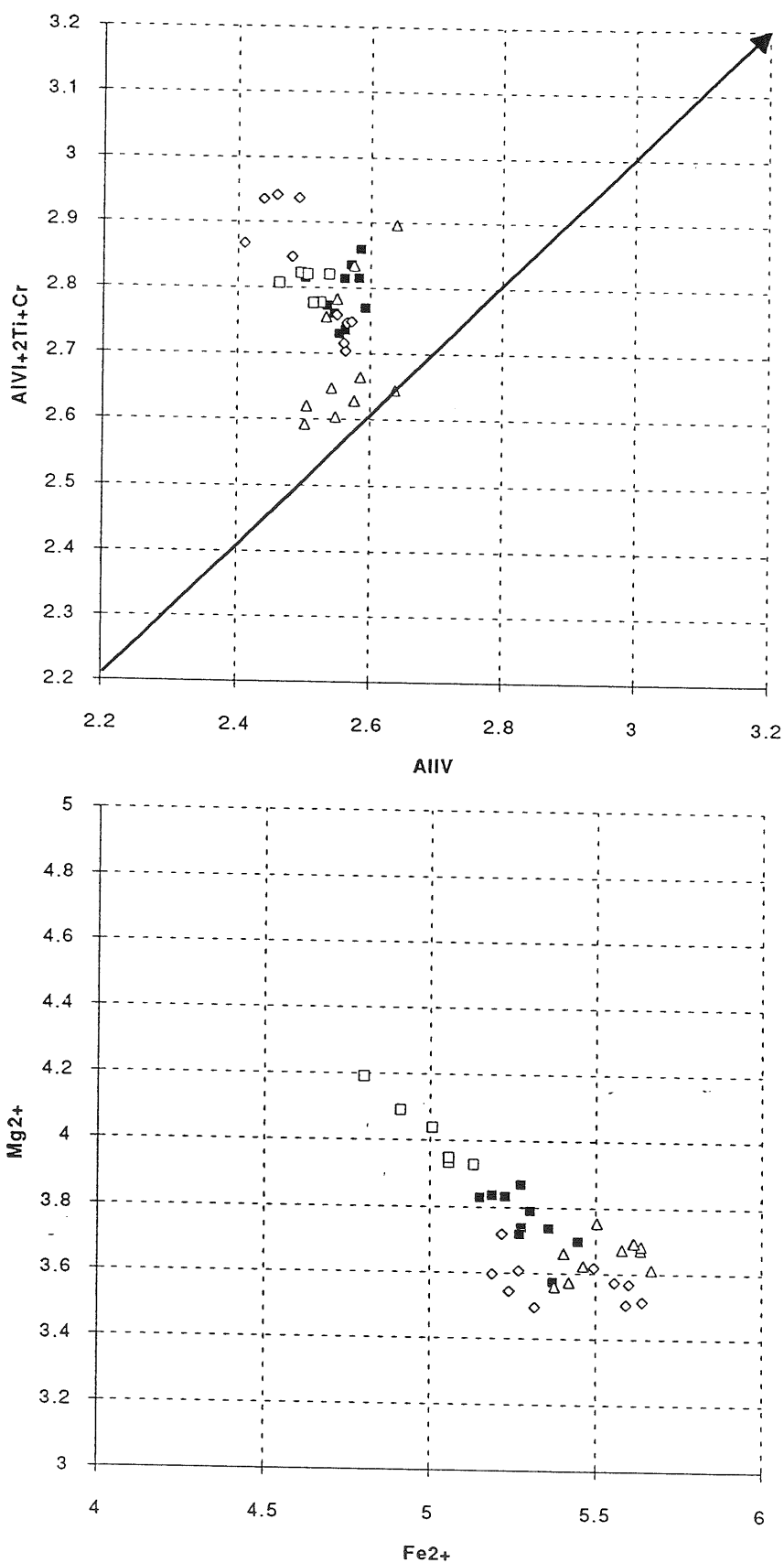


FIG. 9.71a,b. Le cloriti delle metapeliti di Roc de la Valette: nel campione Val 31, differenze compositive tra diverse lamelle di clorite
 Chl perp.-Ms (10 quadrati pieni), Chl1-Ms (6 quadrati vuoti),
 Chl2-Ms (9 rombi pieni), Chl3-Ms (11 rombi vuoti).

l'altra, sia per le rispettive aree di distribuzione che per la dispersione dei punti. Considerando ora le quattro lamelle, dalla FIG. 9.71a si può notare come gli intervalli di variazione della sostituzione AM in ciascuna singola lamella siano generalmente più ristretti rispetto all'intervallo di variazione globale di tutti i dati. L'intervallo di variazione della sostituzione TK invece per la lamella del sito 4: triangoli vuoti risulta paragonabile a quello globale di tutti i dati mentre per le altre lamelle (siti 1 e 2 e 3: quadrati pieni e vuoti e rombi vuoti) è più ristretto. La clorite del sito 2 (quadrati vuoti) si differenzia nettamente dalle cloriti degli altri siti per un maggiore contenuto in Mg mentre le cloriti dei siti 1, 3, 4 presentano una certa variabilità sia nel rapporto Mg/Fe sia per il contenuto di Fe+Mg.

F) La variabilità compositiva delle cloriti osservate in questo campione non consente affermazioni perentorie sul chimismo rappresentativo delle cloriti di questa area T, P per la regione considerata. La variabilità riscontrata è chiaramente indice di non equilibrio legato al basso grado di ricristallizzazione metamorfica di questa roccia e al controllo prevalente esercitato dal chimismo dei microsistemi. Tale chimismo, pur essendo in ogni caso caratterizzato dalla presenza di muscovite a contatto alla clorite analizzata e dall'assenza di opachi a Fe-Ti, si presenta molto variabile per la varia quantità di quarzo ed albite.

Ciò nonostante, è da rimarcare che se l'intervallo di variazione della sostituzione AM è ampio, quella della sostituzione TK è relativamente minore, e forse significativo delle condizioni T, P.

9.5.1.2 Gruppo di temperatura intermedia

LE CLORITI DELLE METAPELITI DEGLI JASOV BEDS (n=132)

A) Sono state realizzate 132 analisi su 15 lamelle di clorite selezionate nei campioni JS7, JS10, JS15.

B) Dato che le cloriti di questi campioni si presentano simili per composizione e localizzazione microstrutturale, i dati analitici vengono qui trattati insieme. Dai diagrammi di FIG. 9.66a,b, nei quali sono proiettate tutte le analisi, risulta che le cloriti degli Jasov Beds, considerate globalmente, presentano una certa sostituzione tschermakitica rispetto alla composizione dell'"end-member" clinocloro-chamosite (posto all'origine della freccia) ed una discreta sostituzione AM. Tali cloriti, inoltre, risultano alquanto ricche in Fe. Nel diagramma di FIG. 9.66a, si nota che la maggiore parte dei punti si concentra in un'area abbastanza ristretta, al margine della quale, verso

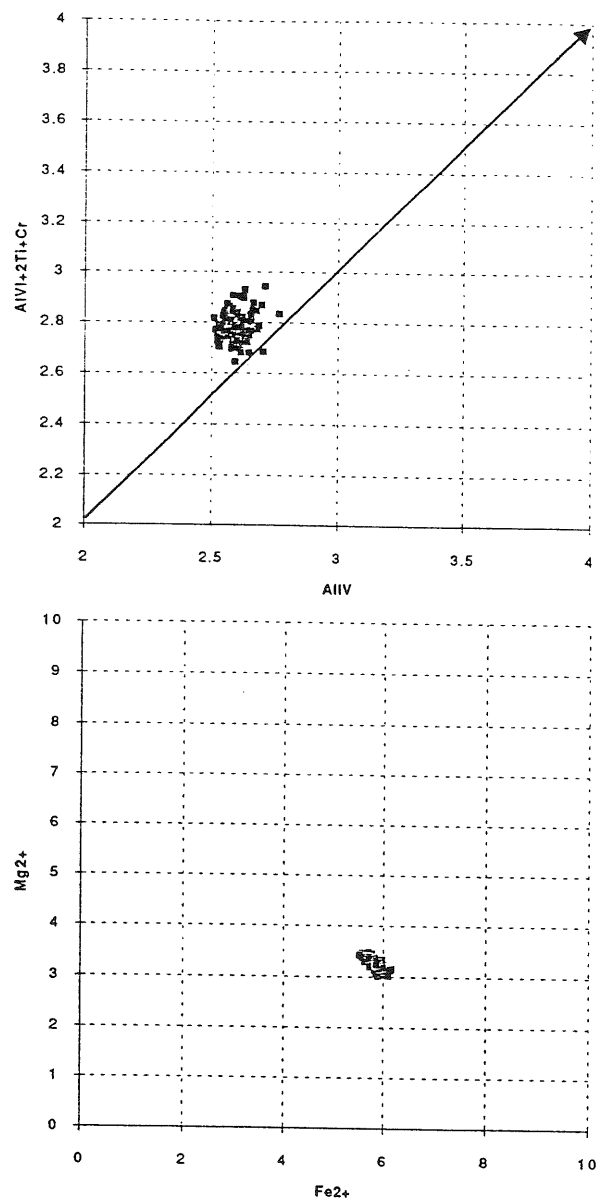


FIG. 9.66a,b. Le cloriti delle metapeliti degli Jasov Beds (132 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da ma proposto per le cloriti di metapeliti.

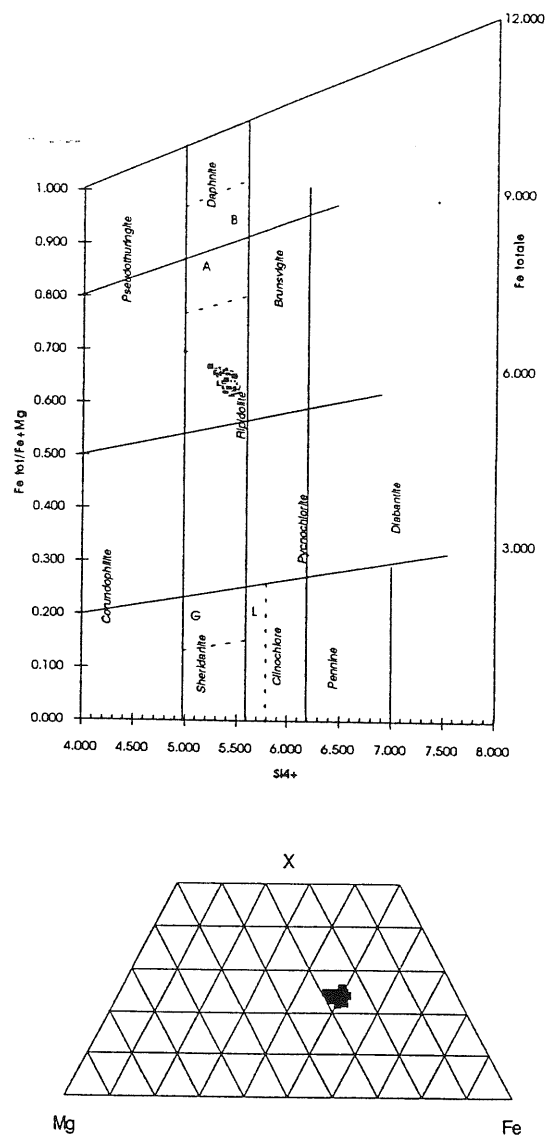


FIG. 9.67a,b. Le cloriti delle metapeliti degli Jasov Beds (132 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996).

TABELLA 9.40. Le cloriti delle metapeliti degli Jasov Beds (132 analisi): statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi.

SITO	->	1: Chl-Ms		2: Chl-Cld		3: Chl-Cld-Ms		dati globali 1+2+3	
		media (68)	dev.st.	media (47)	dev.st.	media (17)	dev.st.	media (132)	dev.st.
Na ₂ O		0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
K ₂ O		0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
MgO		10.03	0.22	9.93	0.41	9.83	0.20	9.97	0.31
FeO		31.81	0.48	31.96	0.76	32.00	0.55	31.89	0.61
Al ₂ O ₃		20.68	0.32	20.92	0.31	20.75	0.17	20.78	0.32
CaO		0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
SiO ₂		24.69	0.27	24.61	0.31	24.62	0.18	24.65	0.27
MnO		0.16	0.06	0.12	0.05	0.19	0.04	0.15	0.06
TiO ₂		0.04	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.02
Cr ₂ O ₃		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Totale		87.48	0.60	87.63	0.42	87.47	0.76	87.53	0.57
Si+4		5.411	0.039	5.385	0.051	5.402	0.027	5.401	0.044
Al ^{IV}		2.589	0.039	2.615	0.051	2.598	0.027	2.599	0.044
tot ^{IV}		8.000		8.000		8.000		8.000	
Al ^{VI}		2.754	0.051	2.782	0.060	2.770	0.033	2.766	0.054
Cr+3		0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003
Fe+2		5.830	0.094	5.849	0.153	5.873	0.075	5.842	0.117
Mn+2		0.030	0.011	0.021	0.008	0.035	0.008	0.028	0.011
Mg+2		3.277	0.062	3.240	0.128	3.215	0.063	3.256	0.093
Ti+4		0.006	0.003	0.006	0.006	0.005	0.003	0.006	0.004
tot ^{VI}		11.901		11.902		11.901		11.902	
K+1		0.007	0.005	0.003	0.003	0.004	0.003	0.005	0.005
Na+1		0.002	0.004	0.000	0.002	0.003	0.004	0.001	0.003
Ca+2		0.003	0.003	0.005	0.005	0.002	0.003	0.004	0.004
Totale		19.913		19.910		19.910		19.912	
Altot		5.343	0.068	5.397	0.079	5.368	0.031	5.365	0.073
Al ^{VI} +2Ti+Cr		2.771	0.053	2.798	0.062	2.784	0.033	2.782	0.055
Fe/Fe+Mg		0.640	0.007	0.644	0.014	0.646	0.007	0.642	0.010

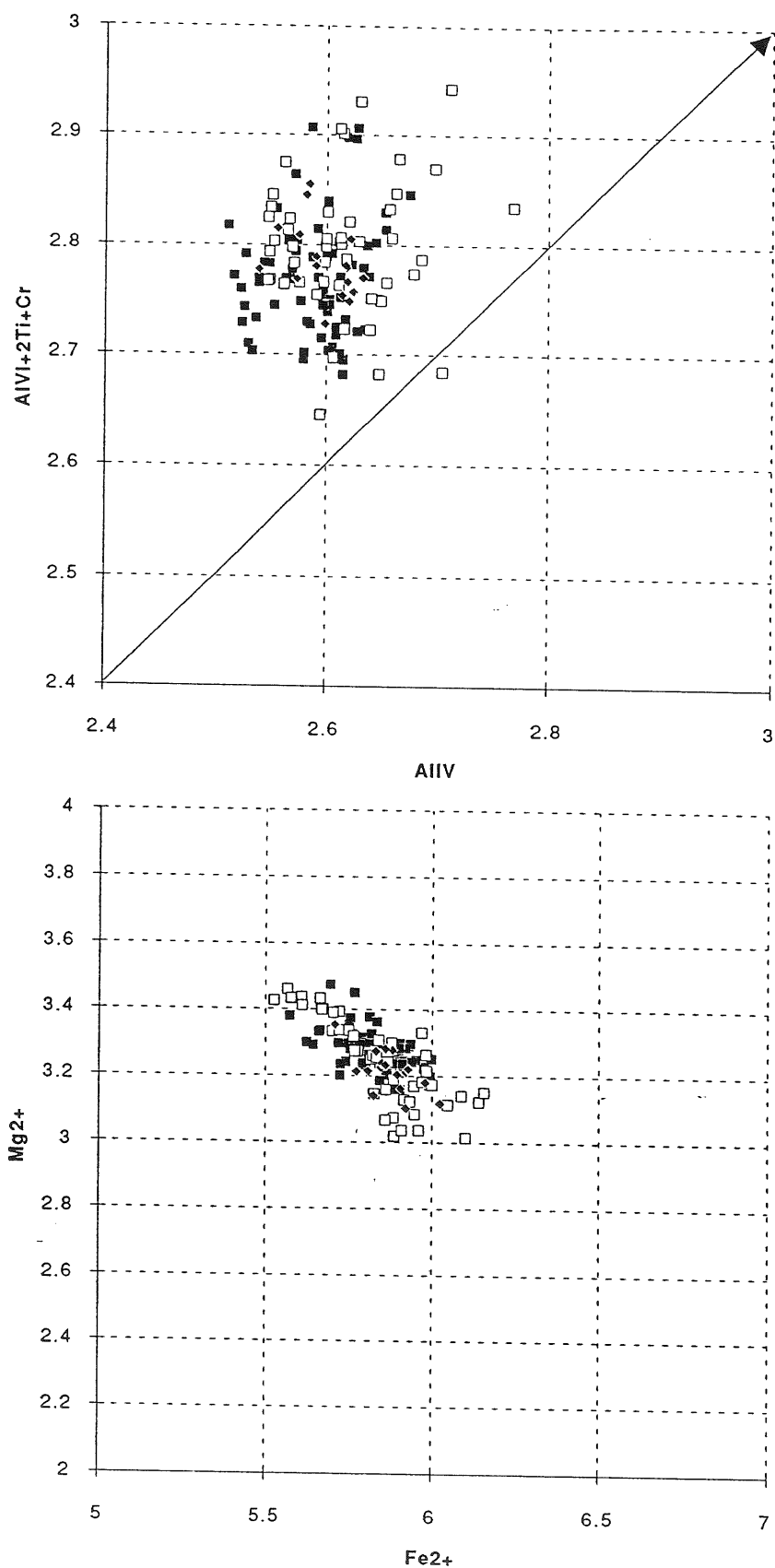


FIG.9. 68a,b. Le cloriti delle metapeliti degli Jasov Beds (132 analisi): differenze compositive tra lamelle di clorite in microsistemi diversi: Chl-Ms (68 quadrati pieni), Chl-Cld (47 quadrati vuoti), Chl-Cld-Ms (17 rombi pieni).

valori di TK più alti, un certo numero di punti risultano più dispersi. Nella FIG. 9.66b, invece i punti si sgranano lungo la direzione che indica una variabilità, pur contenuta, della sostituzione FM.

C) Queste cloriti possono essere classificate come:

- i) chamositi magnesifere secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) ripidoliti secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 9.67a);
- iii) Fe-cloriti tri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) (FIG. 9.67b), con formula schematica media $X_{24}Mg_{27}Fe_{49}$.

D) Le lamelle di clorite studiate in microsonda provengono dai seguenti siti microstrutturali:

- 1: "Chl-Ms" (68 analisi): si tratta di 8 lamelle di clorite parallela a S_2 , a contatto con muscovite, di dimensioni maggiori rispetto a quelle della massa di fondo;
- 2: "Chl-Cld" (47 analisi): si tratta di 5 lamelle di clorite associata a cloritoide in aggregati raggiati;
- 3: "Chl-Ms-Cld" si tratta di due lamelle di clorite a contatto con cloritoide + muscovite statica.

E) In TAB. 9.40 sono riportate le statistiche dei dati chimici delle analisi delle cloriti in ciascun sito microstrutturale oltre che la media globale di tutte le 132 analisi. Invece la FIG. 9.68a,b presenta tutte le relative analisi. L'intervallo di variazione della composizione delle cloriti del sito 1 (quadrati pieni) si sovrappone sostanzialmente a quello delle cloriti a contatto con cloritoide + muscovite statica (sito 3: rombi pieni). L'entità della sostituzione TK per le cloriti di questi due siti (1 e 3) risulta infatti del tutto simile anche se i valori più bassi di detta sostituzione si trovano in lamelle del sito 1. I punti rappresentativi della clorite a contatto con cloritoide (quadrati vuoti), coprendo un'area molto più ampia in entrambi i diagrammi, risultano molto più dispersi dei punti rappresentativi delle cloriti a contatto con muscovite e con muscovite + cloritoide (simboli pieni). In FIG. 9.68a, la nuvola di punti da essi definita (quadrati vuoti) risulta tendenzialmente spostata verso valori più alti di Al^{IV} , mentre i contenuti di $Al^{VI}+2Ti+Cr$ non sembrano mostrare alcuna differenza sistematica rispetto agli altri in termini di sostituzione AM. Nella FIG. 9.68b è evidente che le cloriti a contatto con cloritoide (quadrati bianchi) possono risultare sia più ferri-fere che più magnesifere delle cloriti degli altri due siti dato che coprono un intervallo di variazione più ampio.

F) La notevole variabilità della entità di sostituzione FM non desta molta meraviglia dato che ci si trova in un campo AFM a due fasi (Chl-Cld), nell'ambito del quale la varia

composizione del sistema si esplica ovviamente determinando variazioni nel rapporto Fe/Mg nelle fasi coesistenti. Difficile da capire è invece la variabilità delle sostituzioni TK e AM per comprendere le quali l'ipotesi più probabile è quella di mancanza di equilibrio. Ad ogni modo, in questo caso, non mi rimane altra possibilità che considerare la media globale (con la relativa deviazione standard) di tutte le analisi di questo gruppo di cloriti, nella misura in cui ciò può servire nelle considerazioni conclusive.

9.5.2 Cloriti di metabasiti

Non è stato possibile ottenere una campionatura completa di metabasiti di vario grado, e ci si è dovuti limitare al solo grado metamorfico più alto della facies degli scisti verdi.

9.5.2.1 Gruppo di alta temperatura

LE CLORITI DELLE METABASITI DI ILE DE GROIX (($n = 32$))

A) Dallo studio compositivo in microsonda delle cloriti delle metabasiti di Ile de Groix sono state ottenute 32 analisi, su 3 diverse lamelle selezionate nel campione Groix.

B) L'area compositiva coperta dalle cloriti di questo campione risulta, rispetto all'intervallo compositivo convenzionale riportato nei diagrammi di FIG. 9.72a,b, alquanto ristretto. La distanza dei punti rappresentativi dal punto di coordinate $x=2$, $y=2$ evidenzia la presenza di una certa entità della sostituzione TK rispetto alla composizione dell'"end-member" clinocloro-chamosite; inoltre la proiezione dei punti nell'area sottostante la freccia suggerisce la presenza di uno ione trivalente in coordinazione ottaedrica diverso dall' Al^{VI} , verosimilmente Fe^{3+} (Cr e Ti^{4+} sono presenti in piccole quantità). La composizione di queste cloriti risulta infine abbastanza ricca in Mg^{2+} (FIG. 9.72b), e vincolata a valori sostanzialmente poco variabili del rapporto Fe/Mg.

C) Le cloriti qui studiate possono essere riferite a:

- i) clinoclori ferriferi secondo la nomenclatura dell'AIPEA (BAILEY, 1980);
- ii) ripidoliti secondo il diagramma classificativo di HEY (1954) (FIG. 9.73a);
- iii) Mg-cloriti tri-triottaedriche secondo la classificazione di WEISS (1991) e ZANE & WEISS (1996) (FIG. 9.73b) con formula schematica media $X_{20}Mg_{42}Fe_{38}$.

D) Le tre lamelle di clorite considerate provengono dai seguenti microsistemi (siti microstrutturali):

1: "Chl-Ms" (12 analisi): si tratta di una lamella di clorite cristallizzata a contatto con mica chiara;

2: "Chl-Ms-Ilm-Ab" (10 analisi): si tratta di una lamella di clorite cristallizzata a contatto

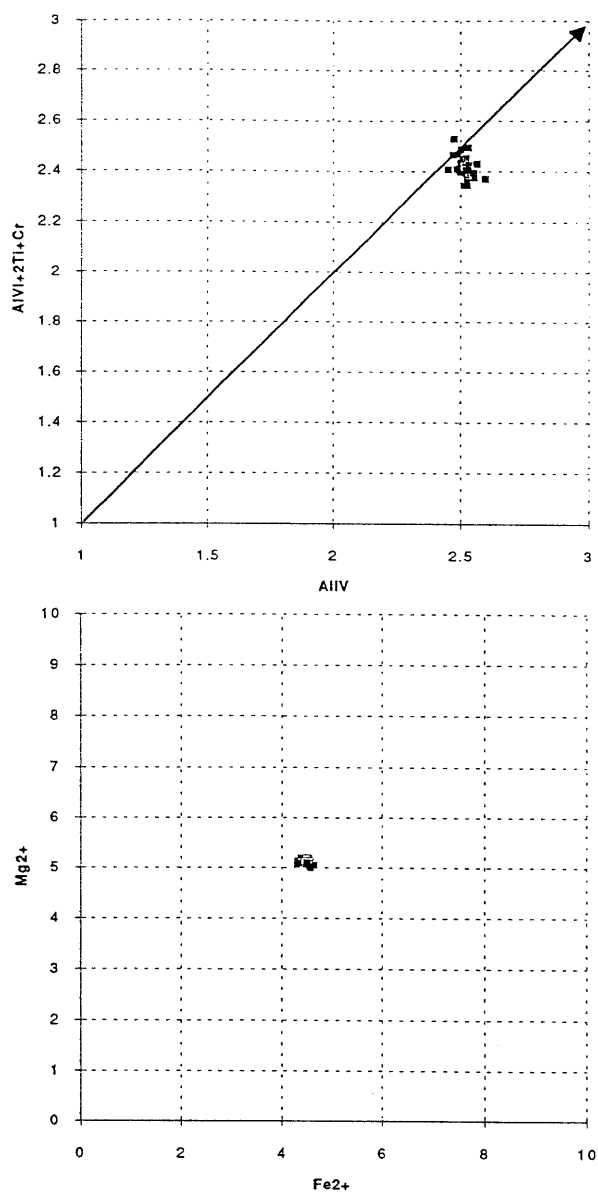


FIG. 9.72a,b. Le cloriti delle metabasiti di Ile de Groix (31 analisi): visione d'insieme della localizzazione dei punti rappresentativi nel campo compositivo convenzionale da me proposto per le cloriti di metapeliti.

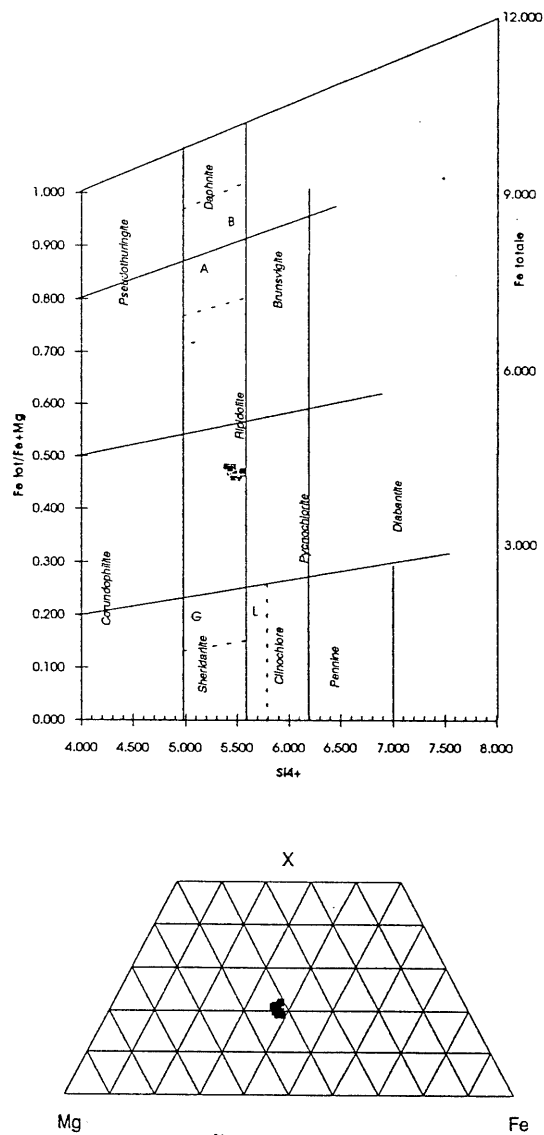


FIG. 9.73a,b. Le cloriti delle metabasiti di Ile de Groix (31 analisi): a) classificazione nel diagramma di Hey; b) localizzazione nel triangolo di Weiss (1991) e Zane & Weiss (1996).

TABELLA 9.42. Le cloriti delle metabasiti di Ile de Groix (32 analisi): statistiche dei contenuti chimici di cloriti di vari microsistemi.

SITO	->	1:Chl-Ms		2:Chl-Ms-Ab		3: Chl-Ilm-Grt		dati globali 1+2+3	
		media (12)	dev.st.	media (10)	dev.st.	media (9)	dev.st.	media (31)	dev.st.
Na ₂ O		0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
K ₂ O		0.04	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04	0.02	0.03
MgO		16.29	0.13	16.22	0.13	15.97	0.13	16.17	0.19
FeO		25.05	0.31	25.56	0.17	25.78	0.37	25.44	0.43
Al ₂ O ₃		19.96	0.18	19.59	0.11	19.73	0.19	19.78	0.23
CaO		0.06	0.14	0.01	0.01	0.04	0.02	0.04	0.09
SiO ₂		26.14	0.14	25.87	0.22	25.82	0.28	25.95	0.25
MnO		0.25	0.03	0.21	0.02	0.23	0.03	0.23	0.03
TiO ₂		0.05	0.01	0.04	0.01	0.07	0.01	0.05	0.02
Cr ₂ O ₃		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
Totale		87.86	0.37	87.53	0.26	87.67	0.34	87.70	0.35
Si+4		5.495	0.020	5.479	0.031	5.466	0.039	5.481	0.032
AlIV		2.506	0.020	2.521	0.031	2.534	0.039	2.519	0.032
totIV		8.000		8.000		8.000	0.000	8.000	
AlVI		2.441	0.032	2.369	0.023	2.390	0.057	2.402	0.049
Cr+3		0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.004	0.001	0.002
Fe+2		4.404	0.049	4.528	0.041	4.565	0.074	4.493	0.090
Mn+2		0.045	0.006	0.038	0.004	0.042	0.006	0.042	0.006
Mg+2		5.106	0.036	5.121	0.033	5.040	0.051	5.090	0.052
Ti+4		0.008	0.002	0.006	0.002	0.011	0.002	0.008	0.003
totVI		12.004		12.063		12.049		12.036	
K+1		0.009	0.005	0.003	0.004	0.005	0.011	0.006	0.008
Na+1		0.002	0.004	0.003	0.004	0.001	0.003	0.002	0.004
Ca+2		0.015	0.032	0.003	0.002	0.008	0.005	0.009	0.020
Totale		20.030		20.071		20.063		20.053	
Altot		4.946	0.033	4.891	0.027	4.923	0.037	4.922	0.039
AlVI+2Ti+Cr		2.458	0.033	2.384	0.021	2.413	0.055	2.421	0.049
Fe/Fe+Mg		0.463	0.003	0.469	0.003	0.475	0.004	0.469	0.006

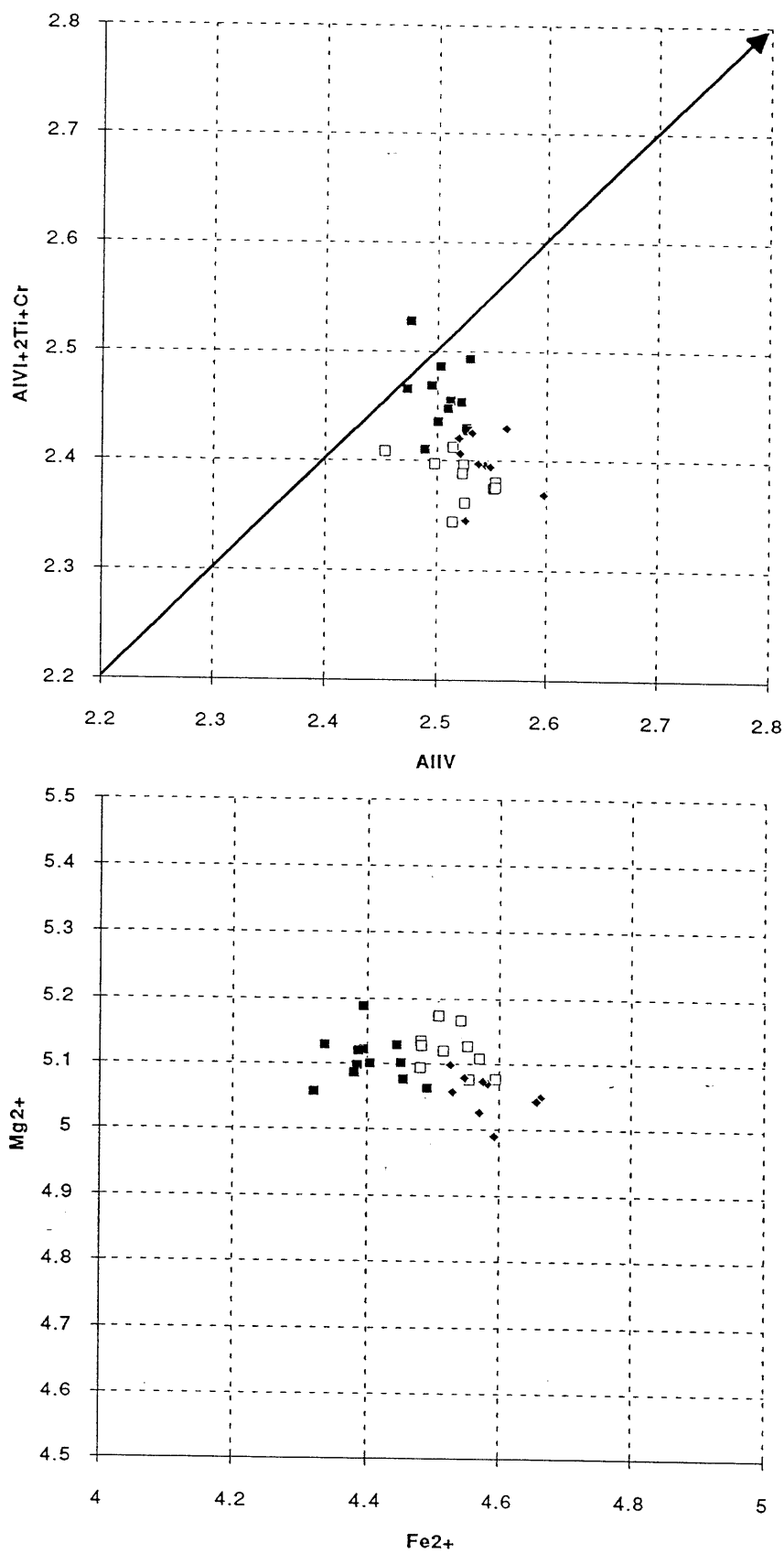


FIG. 9.74a,b. Le cloriti delle metabasiti di Ile de Groix (31 analisi): differenze compositive tra lamelle di clorite in microsystemi diversi: Chl-Ms (12 quadrati pieni), Chl-Ms-Ilm-Ab (10 quadrati vuoti), Chl-Ilm-Grt (9 rombi pieni).

con muscovite + ilmenite+ albite;

3: "Chl-Grt-Ilm" (9 analisi): si tratta di una lamella di clorite cristallizzata a contatto con granato e ilmenite.

E) Dalla TAB. 9.42 che riporta le statistiche delle analisi e dalla FIG. 9.74 a,b, che mostra le proiezioni di tutte le analisi, è possibile notare delle differenze compositive tra lamelle cristallizzate in siti microstrutturali diversi. La sostituzione TK ha luogo grosso modo in uguale entità in tutte e tre le lamelle. La distanza dei punti dalla retta risulta invece maggiore per la clorite dei siti 2 (quadrati vuoti) e 3 (rombi pieni), rispetto alla clorite del sito 1 (quadrati pieni). Si può dedurre quindi che il contenuto di Fe^{3+} nelle prime (siti 2 e 3) sia maggiore. Dalla differenza tra $\text{Al}^{\text{VI}} + 2\text{Ti} + \text{Cr}$ ed Al^{IV} si possono stimare i seguenti contenuti minimi di Fe^{3+} rispetto al Fe_{tot} : 1% circa nelle cloriti del sito 1; 3% nelle cloriti del sito 2; 2.6% nelle cloriti del sito 3. Nel diagramma di FIG. 9.74b risulta inoltre che le cloriti dei siti 2 (quadrati vuoti) e 3 (rombi pieni) si differenziano nettamente dalle cloriti del sito 1 (quadrati pieni) risultando più ricche in Fe (si ricorda che il Fe^{2+} riportato in ascissa si riferisce in realtà al Fe_{tot}). I contenuti in Mg invece sono del tutto confrontabili tra le cloriti dei siti 1 e 2, mentre risultano inferiori per parte dei punti rappresentativi della clorite del sito 3.

F) Nonostante la variabilità compositiva riscontrata soprattutto per la sostituzione AM, il chimismo medio globale di tutte le analisi (TAB. 9.42 colonna 4) è l'unico dato disponibile come rappresentativo della clorite di questa regione corrispondente alla parte di più alta temperatura della facies degli scisti verdi glaucofanitici di transizione verso la facies delle anfiboliti ad Ab+Ep.

9.6 ANDAMENTI GENERALI

Nei paragrafi precedenti di questo Cap. 9 ho tenuto nettamente separati la presentazione dei dati (punti da A a E) da considerazioni di carattere interpretativo (punti F). Inoltre nelle parti descrittive ho fatto la scelta di presentare le singole analisi tal quali, evitando di mediarle fin dall'inizio: infatti ritengo che il singolo dato analitico abbia un suo valore intrinseco che in parte va perso nelle elaborazioni statistiche non: infatti queste ultime, oltre ad avere una più o meno marcata connotazione interpretativa, fanno perdere al singolo dato analitico la sua identità cristallografico-mineralogica.

E' in questo paragrafo che tenterò di sviluppare, nei limiti del possibile, un discorso interpretativo, ed è quindi in questo paragrafo che rappresenterò quando necessario i dati analitici mediante rappresentazioni statistiche, come annunciato nel paragrafo 9.1.

Effetti della composizione chimica delle rocce.

Le differenze compositive tra cloriti dei diversi litotipi, a prescindere dai valori di pressione e temperatura, possono essere sintetizzate come segue.

Con riferimento alle FIG. 9.75a,b,c:

- 1) le cloriti di metapeliti mostrano i più alti valori della sostituzione TK, e comunque l'intera nuvola di punti è nettamente spostata verso valori di TK più alti rispetto alle cloriti di metabasiti;
- 2) le cloriti delle metarioliti coprono un intervallo di TK molto ampio, che si sovrappone sia al campo delle cloriti di metabasiti che, in parte, a quello delle metapeliti;
- 3) i valori della sostituzione AM non mostrano differenze sistematiche tra le diverse litologie.

Con riferimento alle FIG. 9.76a,b,c:

- 4) per quanto riguarda l'entità della sostituzione FM, le metapeliti sembrano coprire l'intervallo più ampio; tuttavia i valori di Mg più alti derivano tutti da filladi di Recoaro risultate molto magnesifere; fra queste cloriti e tutte le altre si individua in FIG. 9.76a una lacuna;
- 5) le cloriti di metabasiti si pongono in maggior parte a coprire tale lacuna, ed hanno valori del rapporto Mg/Fe prevalentemente >1 , a differenza della maggior parte delle cloriti di metapeliti che hanno Mg/Fe <1 , al pari di tutte le cloriti delle metarioliti;
- 6) va infine notato che le cloriti di metabasiti hanno tutte valori di $Fe + Mg > 9.0$, cos' come buona parte di quelle delle metarioliti.

Le FIG. 9.77a,b,c confermano le osservazioni sopra esposte. Da esse si desume che le cloriti di metapeliti sono tutte ripidoliti, tranne il sopracitato gruppo di cloriti molto magnesifere delle filladi di Recoaro che sono delle sheridaniti. Netta è la separazione anche in questo diagramma fra cloriti di metarioliti e cloriti di metabasiti, che sono disperse attorno al limite fra il campo delle ripidoliti e i campi adiacenti, pur cadendo in prevalenza nel primo.

Da notare è che le pycnocloriti delle metabasiti in FIG. 9.77b sono cloriti retrograde a spese di biotite.

Effetti della pressione.

Per riconoscere tali effetti considererò separatamente metapeliti, metabasiti, metarioliti e, nell'ambito di ciascuno di questi gruppi litologici tenterò di individuare i caratteri delle cloriti dei tre tipi barici di metamorfismo considerati.

Per le metapeliti si nota che:

- 1) le cloriti di bassa pressione occupano un campo relativamente grande, nel quale la

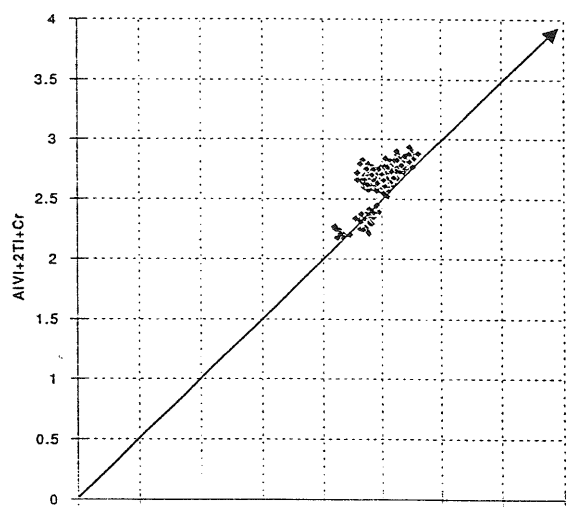
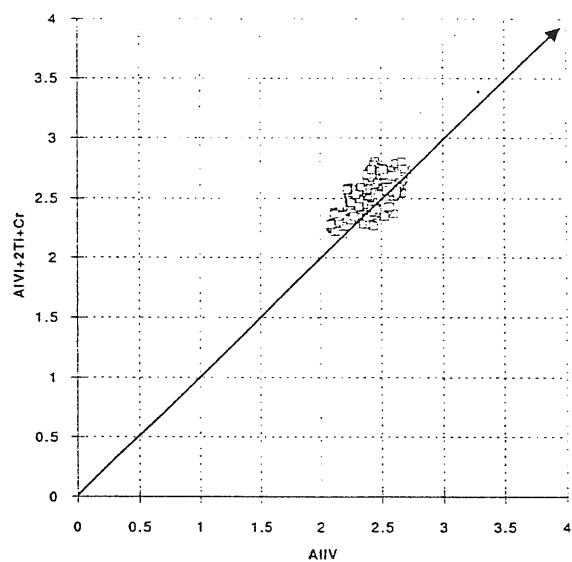
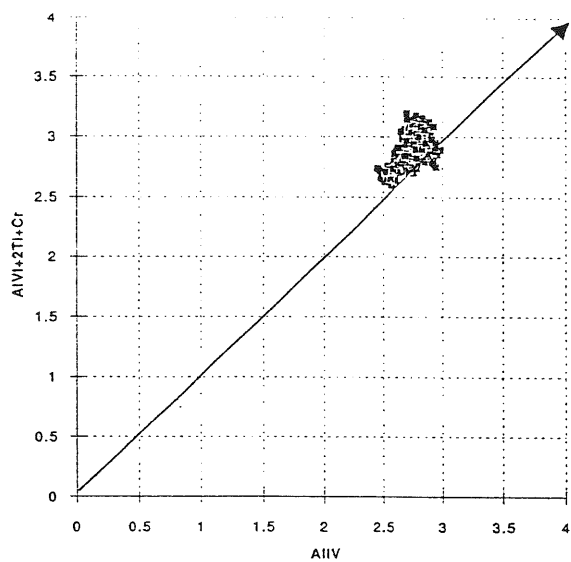


FIG. 9.75a,b. Caratteri chimici di cloriti di metapeliti (quadrati pieni), di metabasiti (quadrati vuoti) e di metarhyoliti (rombi pieni) di varie temperature e pressioni.

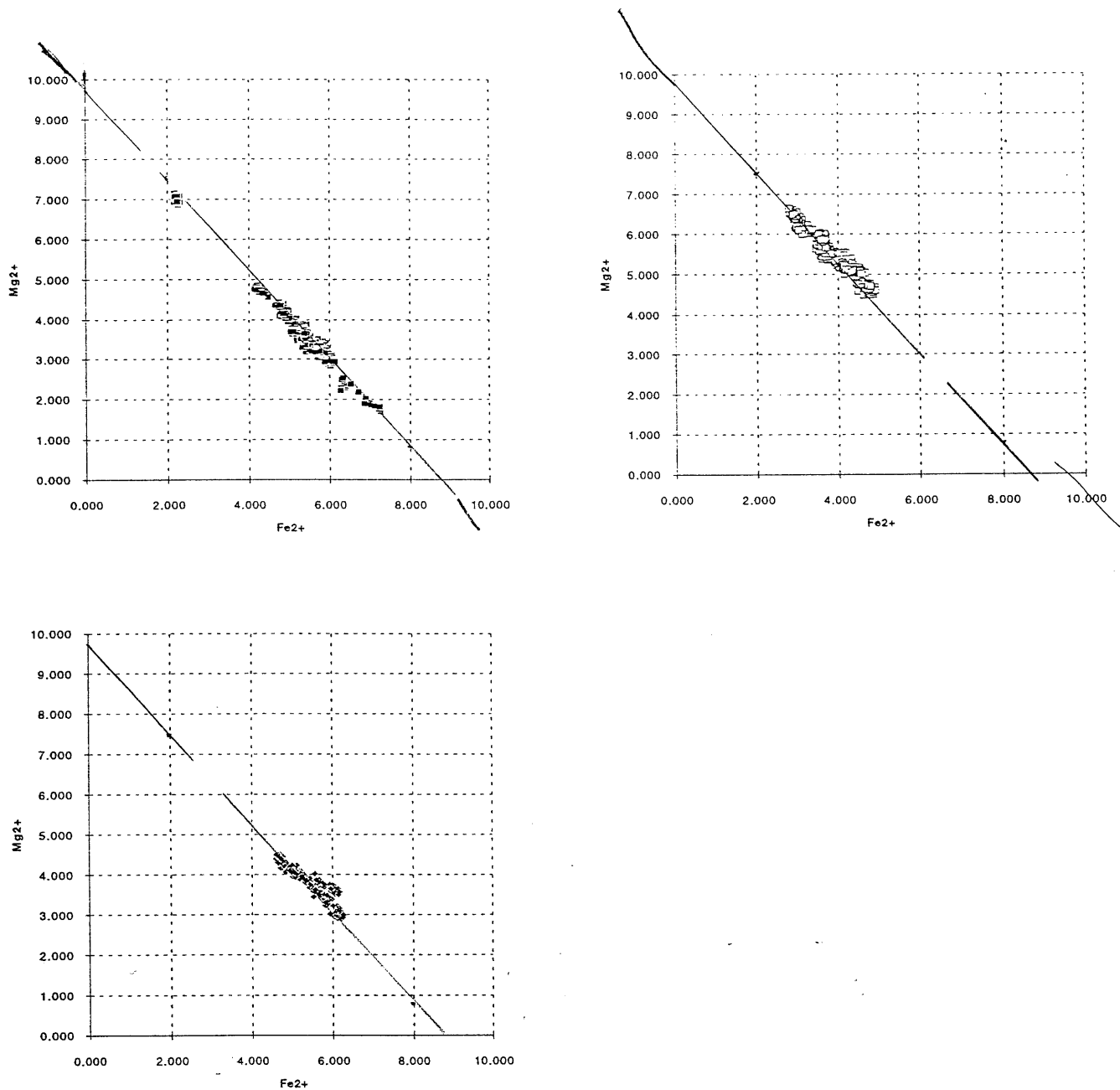


FIG. 9.76a,b,c. Caratteri chimici di cloriti di metapeliti (quadrati pieni), di metabasiti (quadrati vuoti) e di metarhyoliti (rombi pieni) di varie temperature e pressioni.

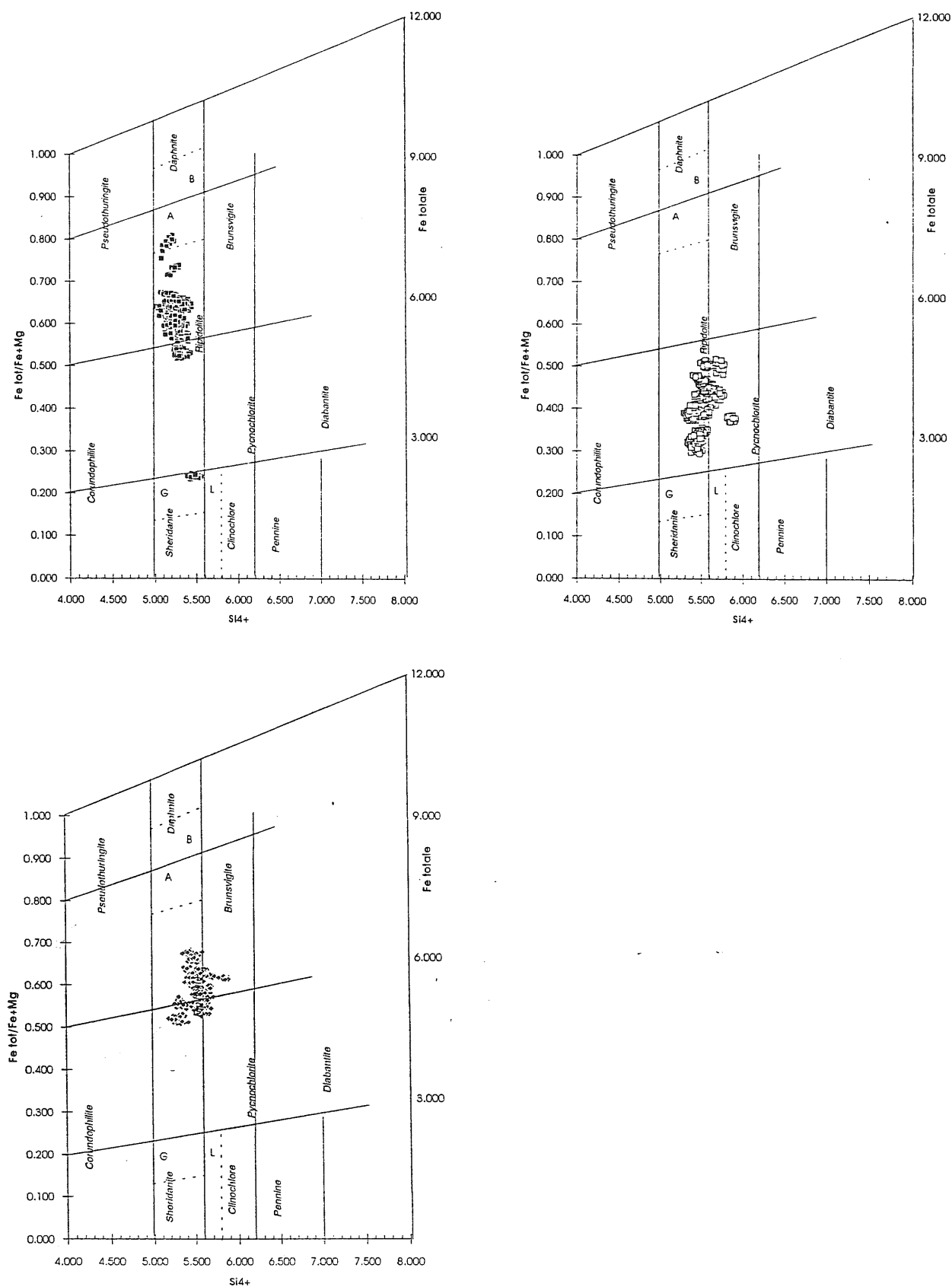


FIG. 9.77a,b,c. Caratteri chimici di cloriti di metapeliti (quadrati pieni), di metabasiti (quadrati vuoti) e di metarhyoliti (rombi pieni) di varie temperature e pressioni.

maggior parte dei punti si pone nel settore a più alti valori sia di TK che di AM (FIG. 9.78a,b,c);

2) le cloriti di pressione intermedia e, ancor più, quelle di alta pressione, cadono al contrario nello stesso campo, ma nel settore di TK e AM minori (FIG. 9.78a,b,c);

3) in particolare le cloriti di alta pressione hanno valori di Al^{IV} grosso modo inferiori a 2.8 a.f.u. (FIG. 9.78a,b,c);

4) trascurando ulteriori considerazioni sulle cloriti molto magnesifere delle filladi di Recoaro (FIG. 9.79a), si nota una progressiva diminuzione dell'ampiezza dell'intervallo di variazione del rapporto Mg/Fe all'aumentare della pressione;

5) tutte le cloriti di metapeliti sono ripidoliti (FIG. 9.80), a vario contenuto in Si (le più ricche sono quelle di alta pressione, mentre quelle di pressione bassa e intermedia coprono lo stesso intervallo di valori) e a vario contenuto in Fe, che però non è sufficiente a discriminare le cloriti di varia pressione.

Per le metabasiti propongo le seguenti considerazioni, con riferimento alle FIG. 9.81a,b,c,d:

1) le cloriti di bassa pressione presentano un ampio intervallo di sostituzione TK e AM (FIG. 9.81a), mentre quelle di pressione intermedia e alta sembrano concentrate intorno a valori di TK relativamente alti (FIG. 9.81b), ma non massimi; questi ultimi infatti si trovano invece solo in cloriti di bassa pressione (FIG. 9.81a);

2) le cloriti di alta pressione cadono quasi tutte nel campo sottostante la freccia, cioè nell'area di saturazione (rombi pieni) (FIG. 9.81b);

3) la varia pressione non sembra avere indotto effetti sistematici in termini di sostituzione FM sulle cloriti da me analizzate (FIG. 9.81c,d);

4) le cloriti di pressione intermedia e alta sono quasi tutte ripidoliti, con poche pycnocloriti di pressione intermedia (FIG. 9.82b), mentre le cloriti di bassa pressione, pur essendo in maggioranza ripidoliti, cadono pure abbondantemente nel campo delle pycnocloriti; si notano in tutti i casi bassi valori di Fe.

Effetti della temperatura.

Ovviamente, trattandosi di cloriti di associazioni per lo più non limitanti, non è stata una sorpresa constatare nei diagrammi da 9.1 a 9.5 il grado relativamente elevato di dispersione dei punti che essi mostrano. Infatti tale dispersione non è in nessun caso influenzata dall'errore analitico che, come già detto (paragrafo 9.2) è di valori modesti, in ogni caso rientranti, se rappresentati graficamente, nelle dimensioni dei simboli usati nei vari diagrammi. La dispersione è dunque reale, e come tale è da mettere in relazione ai valori dei parametri che controllano la cristallizzazione di queste cloriti.

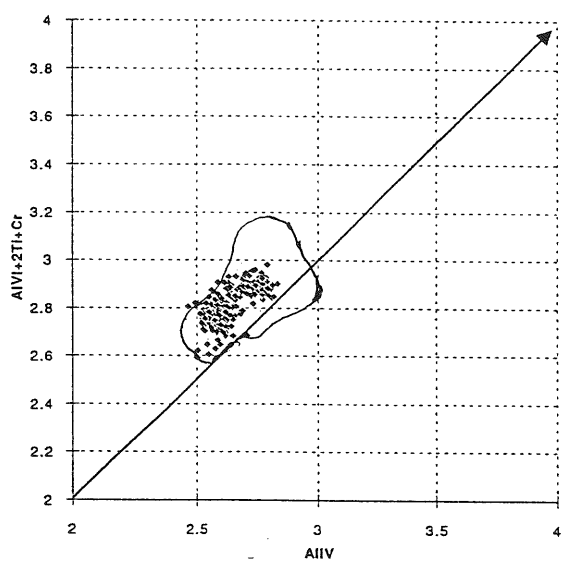
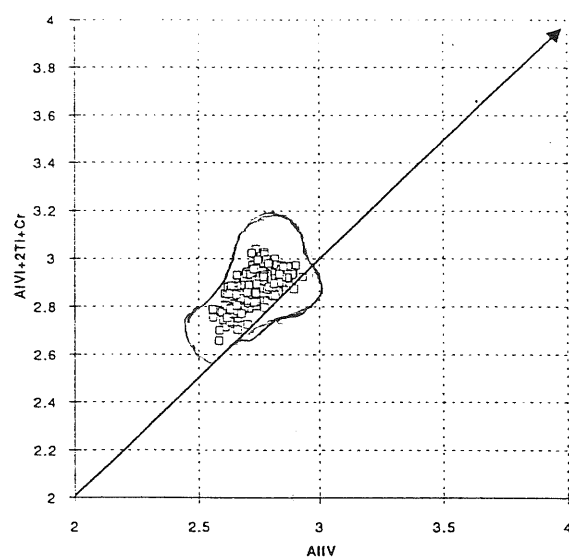
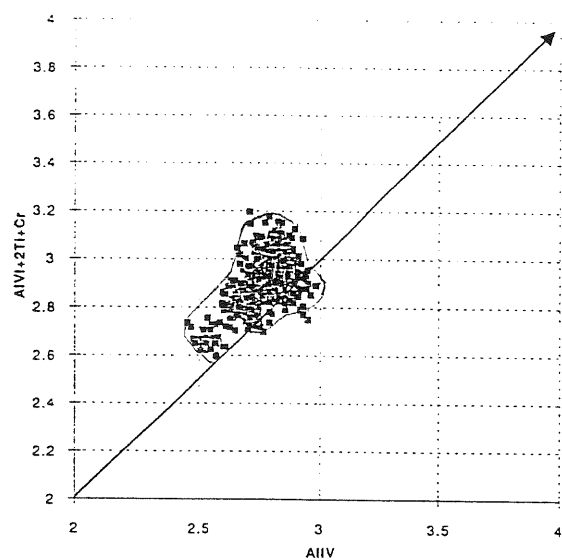


FIG. 9.78a,b,c. Caratteri chimici di metapeliti di bassa (quadrati pieni), intermedia (quadrati vuoti), ed alta (rombi pieni) pressione, di vario grado metamorfico.

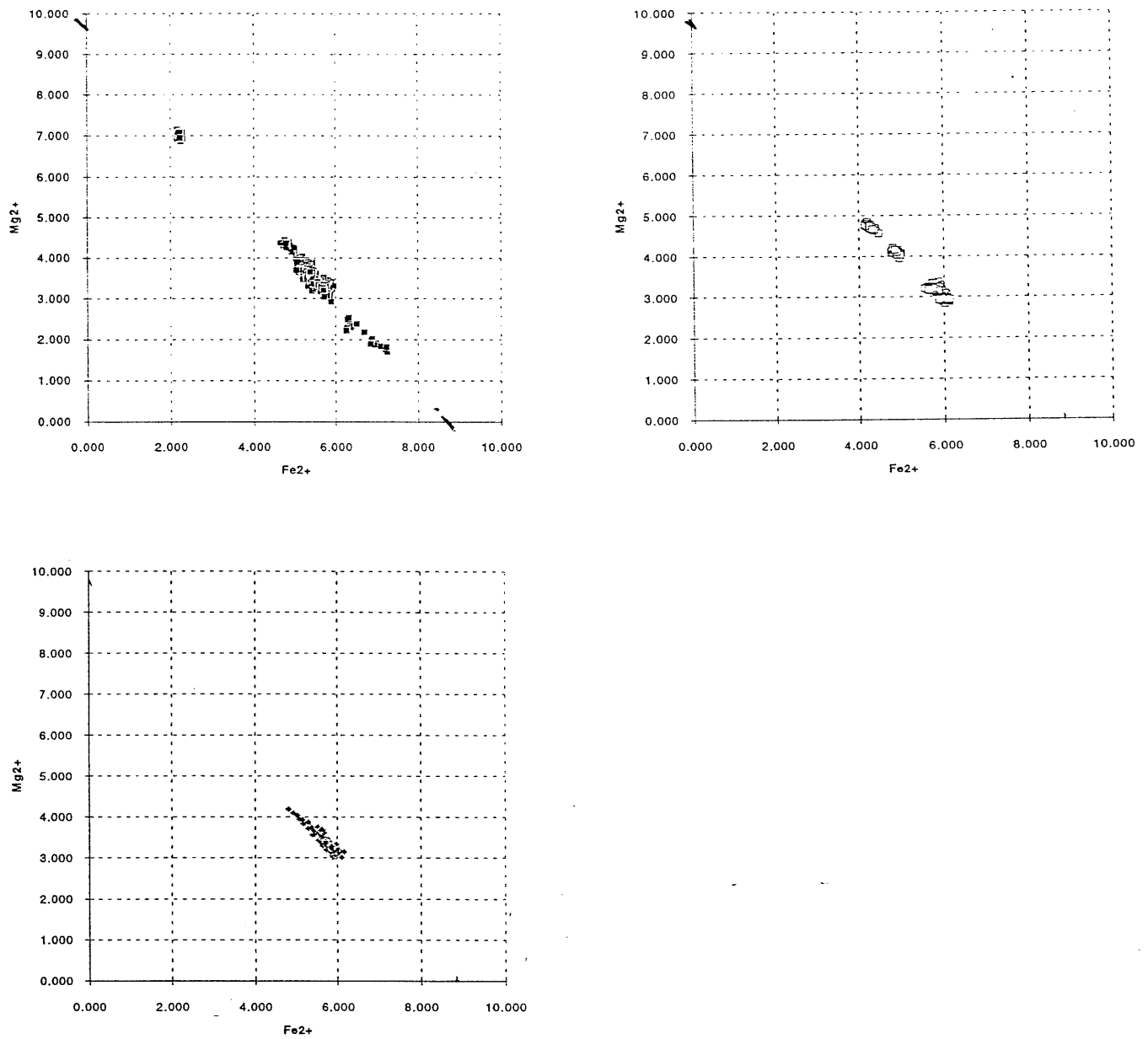


FIG. 9.79a,b,c. Caratteri chimici di metapeliti di bassa (quadrati pieni), intermedia (quadrati vuoti), ed alta (rombi pieni) pressione, di vario grado metamorfico.

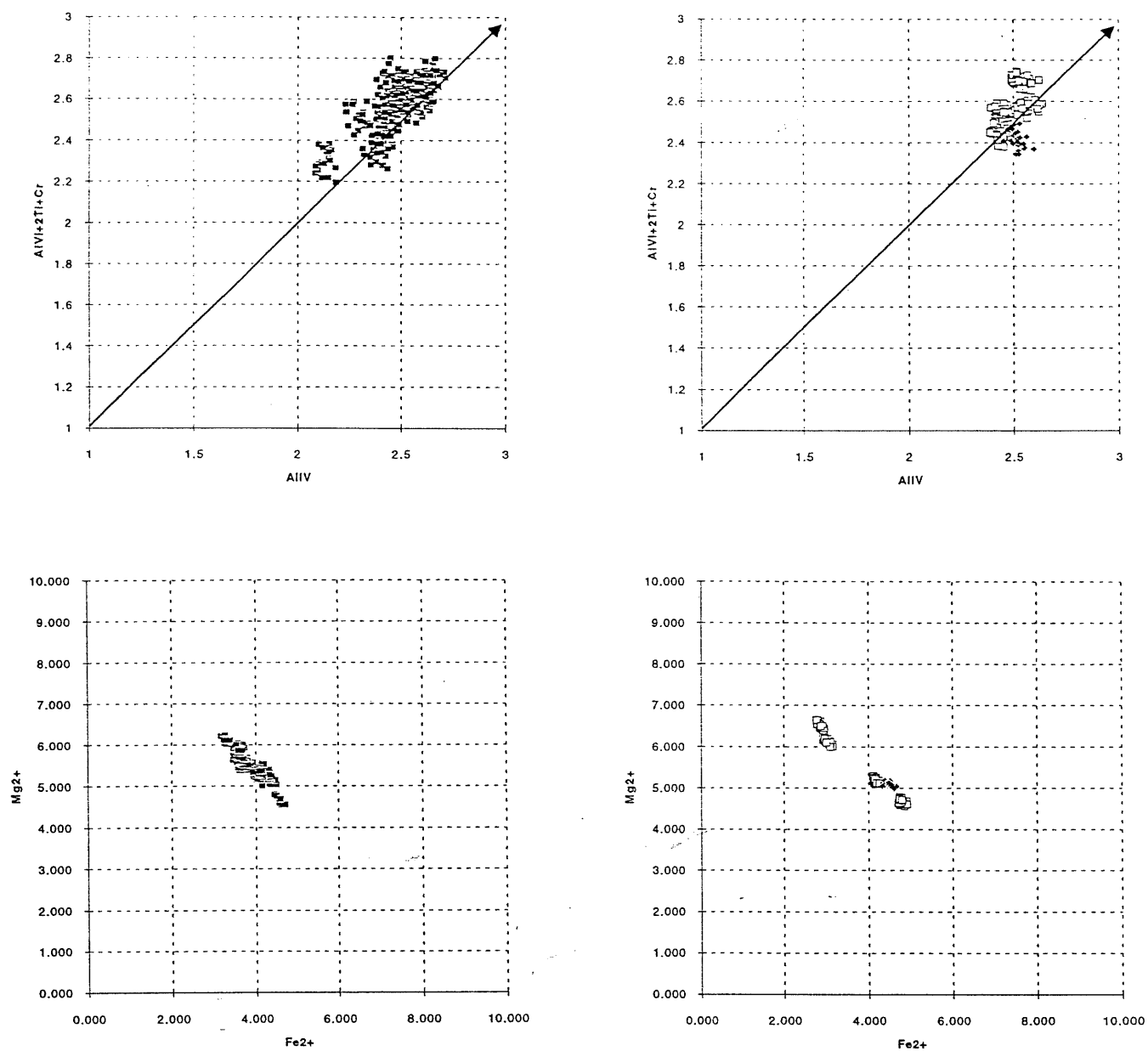


FIG. 9.81a,b,c,d. Caratteri chimici di metabasiti di bassa (quadrati pieni), intermedia (quadrati vuoti) e alta (rombi pieni) pressione, di vario grado metamorfico.

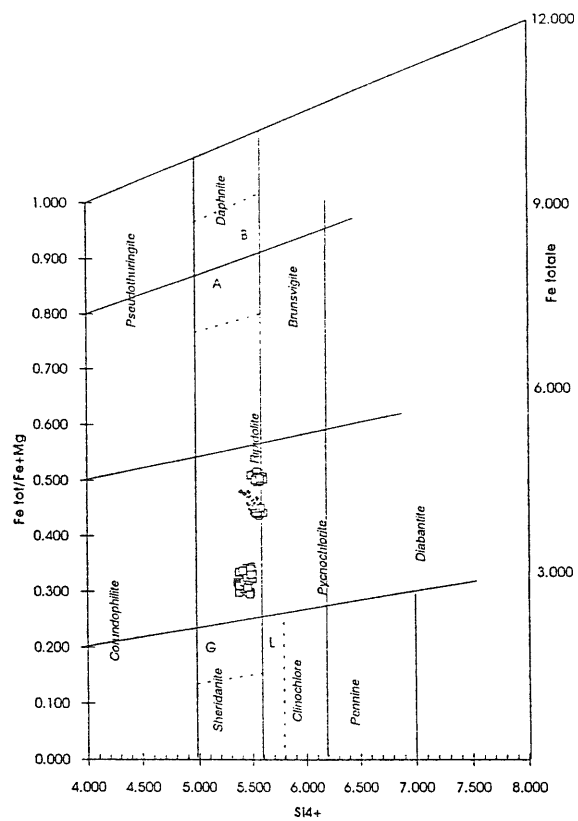
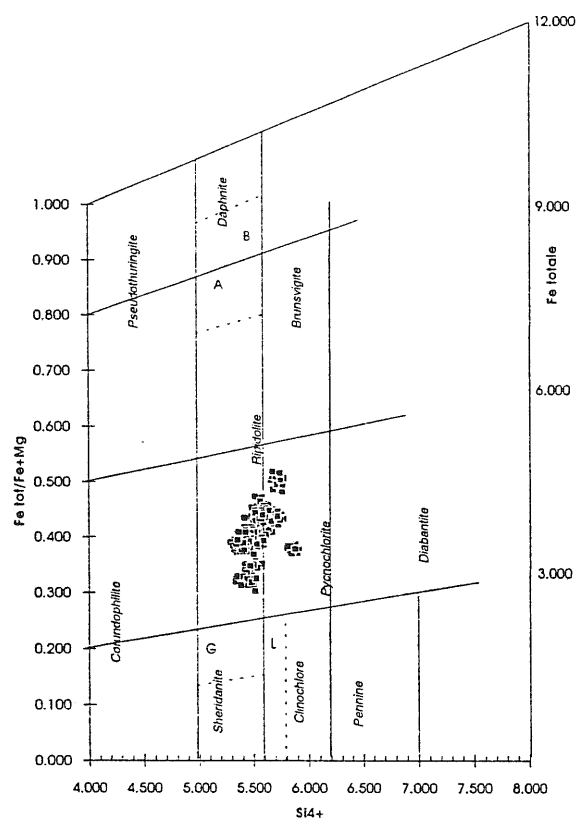


FIG. 9.82a,b. Caratteri chimici di metabasiti di bassa (quadrati pieni), intermedia (quadrati vuoti) e alta (rombi pieni) pressione, di vario grado metamorfico.

Discernere, all'interno di queste nuvole di punti, degli andamenti sistematici di significato petrologico, è alquanto complesso ma possibile, proprio per la chiara progettazione petrologica della campionatura e della scelta dei micrositi in cui ogni lamella di clorite analizzata è situata.

A tal proposito, anzitutto, va detto che la variabilità compositiva delle cloriti in funzione della composizione mineralogica del microsito indica chiaramente una situazione di non equilibrio; tuttavia la indubbia differenza di composizione fra gruppi di cloriti di analogo microsistema chimico, ma di diversa temperatura e/o diversa pressione, indica che il chimismo delle cloriti si è in qualche misura adeguato alle condizioni fisiche ambientali.

Ritengo quindi che la chiave di lettura petrologica in funzione della temperatura e della pressione dei dati prima presentati debba essere inquadrato nell'ambito del concetto di "equilibri locali" o "equilibri a mosaico" (ZEN, 1963). Nell'ambito di questo concetto, va tenuto anche presente il fatto che nelle rocce di basso grado metamorfico, oggetto della presente ricerca, il numero di fasi mineralogiche è comunemente basso, e le fasi sono per giunta distribuite eterogeneamente nella roccia a formare letti alternati tendenzialmente monomineralici: quindi le probabilità di trovare siti che abbiano nel microsistema le disponibilità chimiche quantitativamente adeguate a saturare il complesso sistema chimico delle cloriti sono basse. Inoltre, per quanto riguarda la temperatura, il grado metamorfico attribuito ad una roccia è quello corrispondente al culmine termico: ma la storia termica registrata in generale nelle rocce di metamorfismo regionale è lunga, e non sempre le cloriti analizzate sono cristallizzate nel culmine termico.

Premesso tutto ciò, tentiamo di individuare le variazioni riferibili a temperature crescenti nell'ambito dello stesso tipo barico di metamorfismo dello stesso litotipo. Per fare ciò ci si baserà, per ciascuna condizione T, P considerata sul sottogruppo di cloriti individuato nei punti *F* dei paragrafi precedenti, individuazione che è stata basata tenendo conto delle problematiche sopra descritte. Precisamente, sono state considerate solo:

- le sottopopolazioni di cloriti riferibili al culmine termico della data roccia o gruppo di rocce;
- le sottopopolazioni di cloriti riferibili a microsistemi a maggior grado di saturazione di Al e di femici, per approssimarsi alle situazioni di associazione limitante; si vedrà che di questi due principali requisiti chimici il secondo non è quasi mai soddisfatto.

I sottogruppi utilizzati a tale scopo sono indicati nelle tabelline sottostanti ciascun

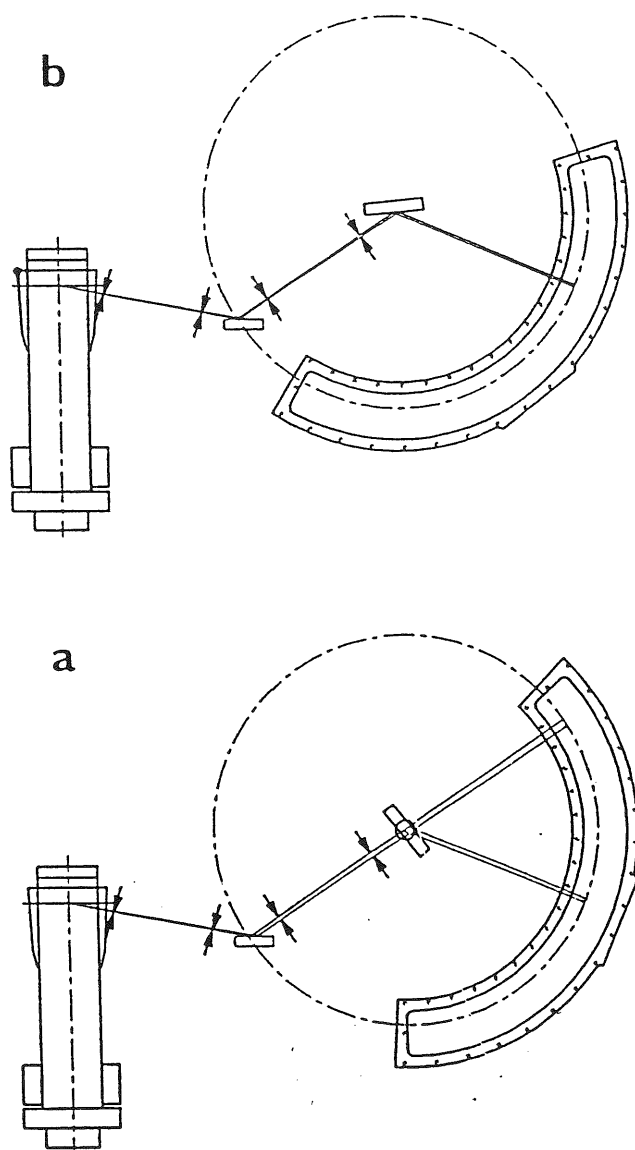


FIG. 10.1a,b. Visione prospettica del diffrattometro INEL con rivelatore curvo a gas e cristallo monocromatizzatore piatto a germanio. (a) trasmissione; (b) riflessione. La linea tratteggiata rappresenta il cerchio del goniometro, mentre le frecce rappresentano il sistema di collimazione (per gentile concessione di Z.WEISS).

Le analisi in diffrazione RX sono state ottenute col diffrattometro INEL presso il Central Analytical Laboratory dell'Università Tecnica di Ostrava, Repubblica Ceca. Il diffrattometro INEL possiede una geometria orizzontale Debye-Scherrer ed è equipaggiato con un rivelatore curvo CPS 120 a gas (85% di argon, 15% metano) ed un cristallo monocromatizzatore a Ge. L'ampia apertura (120°) del rivelatore permette di acquisire dati analitici in pochi minuti (EVAÏN, 1993). Le riprese sono state effettuate con radiazioni $\text{CuK}\alpha$, corrente 40mA, tensione 28kV e tempi di esposizione di 40 minuti. Il diffrattometro INEL può operare sia in riflessione che in trasmissione (FIG. 10.1a,b). Nel primo caso la polvere è stata accuratamente compressa nel portacampione e sono stati ottenuti i riflessi basali $00l$ utili per le determinazioni oggetto del paragrafo 10.2. Nel secondo caso è stato riempito un capillare di Lindemann (vetro a Be, Li, B) con orientazione casuale dei cristalli, e sono stati ottenuti i riflessi $20l$ e $13l$ utili per le determinazioni oggetto del paragrafo 10.3.

10.2 DETERMINAZIONE DEL CONTENUTO IN ATOMI PESANTI.

Per valutare il contenuto in atomi pesanti (Fe+Mn+Cr) a partire dai riflessi basali 001, 002, 003, 004 è stato applicato il metodo proposto da WEISS (1991) (vedasi il paragrafo 3.3.2). Lo scopo era quello di effettuare, sia pur su pochi campioni, una verifica di questo metodo sulla base dei dati compositivi da me ottenuti in microsonda elettronica. Lo studio si è basato sulla comparazione tra spettri di diffrazione ottenuti sperimentalmente e spettri ottenuti mediante calcolo.

Sono stati inizialmente selezionati 11 concentrati di clorite. Si fa presente che due dei campioni considerati (CV532 e CV517b: dai cloritoscisti di Calceranica-Vetriolo) sono stati scelti per l'elevata qualità del concentrato di clorite sebbene derivino da rocce la cui composizione, intermedia tra quella di una metapelite e quella di una metabasite, non è attinente al tema di questa tesi. Le relative analisi chimiche in microsonda elettronica (in a.f.u., formula basata su 28 O) sono:

CV517b: Si (5.307), Al^{IV} (2.693), Al^{VI} (2.696), Cr (0.002),

Fe (5.133), Mn (0.098), Mg (4.041), Ti (0.010)

CV532: Si (5.226), Al^{IV} (2.774), Al^{VI} (2.717), Cr (0.002),

Fe (5.807), Mn (0.096), Mg (3.379), Ti (0.010)

Per 3 degli 11 concentrati inizialmente selezionati non è stato possibile effettuare alcuna ripresa diffrattometrica in quanto la polvere ottenuta dalla macinazione del concentrato è risultata essere poco coesiva, e quindi instabile all'interno del portacampioni in rotazione.

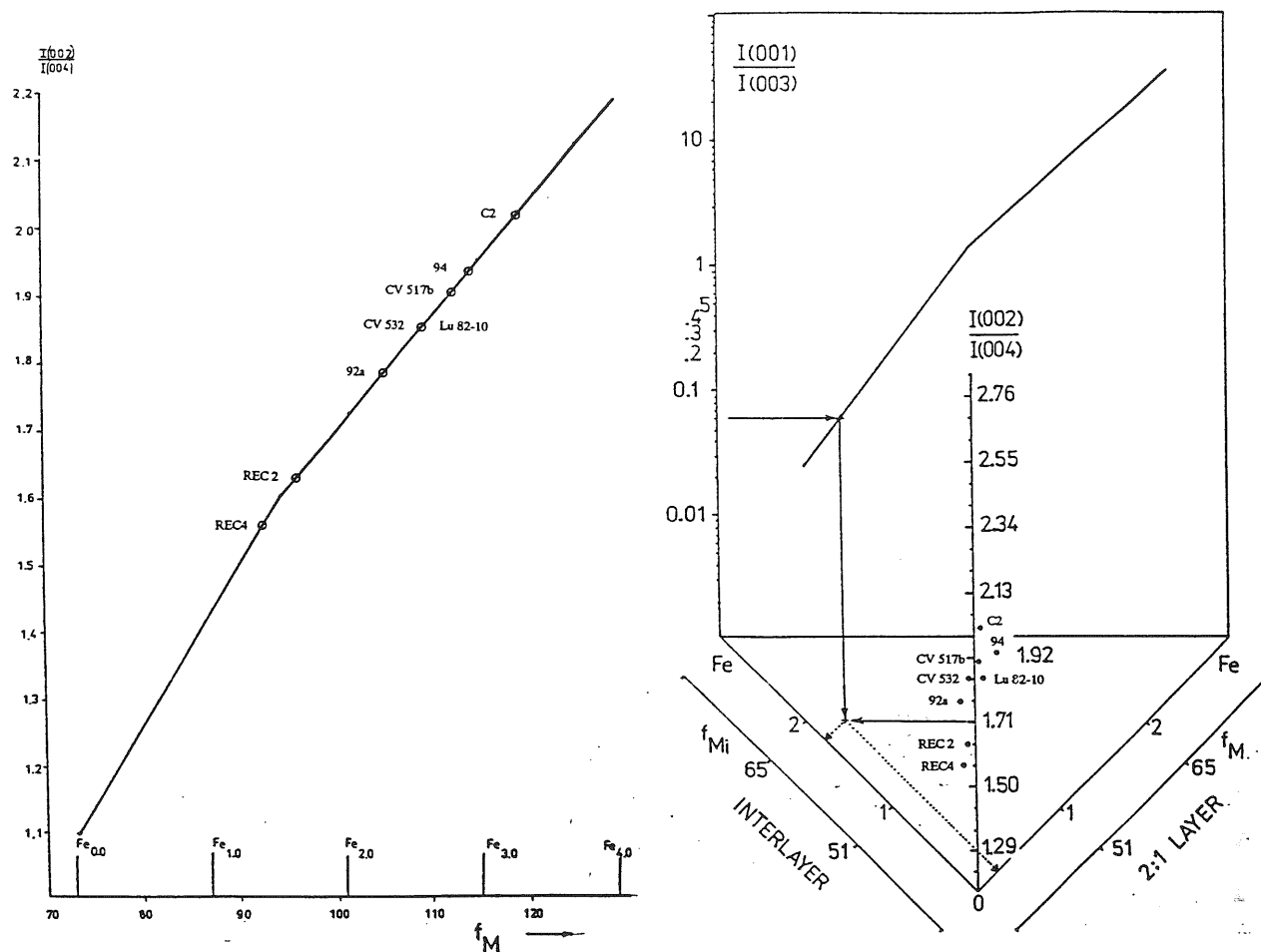


FIG. 10.2. (a) Stima del contenuto in Fe_{tot} nei siti ottaedrici a partire dal rapporto delle intensità osservate I_{002}/I_{004} ; (b) stima della distribuzione del Fe tra strato ottaedrico del pacchetto ed interstrato a partire dai rapporti delle intensità osservate I_{001}/I_{003} e I_{002}/I_{004} .

E' bene sottolineare come una corretta preparazione del campione rappresenti un punto determinante per la buona riuscita dell'analisi. Dall'esperienza di laboratorio si è visto come le irregolarità della superficie della polvere compressa nel portacampione possano influire in modo sensibile sulla misura del rapporto delle intensità I_{002}/I_{004} e I_{001}/I_{003} . Caratteristica essenziale, quindi, per un buon preparato è quella di presentare al fascio di RX incidenti una superficie il più possibile priva di asperità, condizione ottenibile mediante un'elevata orientazione delle lamelle secondo i piani basali. Inoltre, lo spessore della polvere nel portacampione deve essere tale da garantire la geometria di focalizzazione, pertanto la superficie investita dai RX si deve trovare esattamente nel fuoco definito dalla geometria del goniometro.

Per alcuni dei concentrati sono state effettuate due riprese diffrattometriche condotte sulla stessa quantità di materiale rielaborata ed è stata calcolata la media aritmetica delle intensità per i primi cinque riflessi basali.

Sugli stessi campioni analizzati per via diffrattometrica, sono stati poi calcolati i relativi spettri di diffrazione utilizzando il programma DIFK91 (SMRCOV & WEISS, 1993). Per il calcolo sono state utilizzate le seguenti condizioni: a) i parametri di cella calcolati secondo i metodi di VON ENGELHARDT (1942) e RAUSELL-COLOM *et al.* (1991) (vedi par. 3.4.1); b) le coordinate atomiche secondo JOSWIG *et al.* (1980); c) le frazioni atomiche calcolate sulla base di 28 O (ricavate dalle analisi in microsonda); d) una distribuzione omogenea dei cationi ottaedrici tra interstrato e strato ottaedrico del pacchetto 2:1.

I risultati così ottenuti sono riportati in Appendice, tra questi i valori delle distanze interplanari calcolati e di diffrazione osservati, e una rappresentazione grafica delle posizioni angolari e delle intensità calcolate ed osservate dei picchi per i primi cinque riflessi basali di ciascun campione.

Proiettando nei diagrammi di WEISS (1991) (FIG. 10.2.a,b) i valori dei rapporti I_{002}/I_{004} e I_{001}/I_{003} osservati, è stato possibile avere una stima rispettivamente del contenuto in Fe_{tot} e della distribuzione del Fe tra strato ottaedrico del pacchetto 2:1 ed interstrato. I dati numerici relativi ai rapporti delle intensità sopra citati ed ai contenuti in atomi pesanti vengono riportati in TAB. 10.1.

Come si può vedere in FIG. 10.3a,b esiste una discreta correlazione fra i rapporti delle intensità I_{002}/I_{004} calcolate e quelli delle intensità osservate e, di conseguenza, fra il contenuto di Fe+Cr+Mn ottenuto colla microsonda elettronica e quelli stimati mediante diffrazione RX. Tale correlazione conferma la validità del metodo proposto da WEISS (1991) per una stima indiretta del chimismo delle cloriti.

Campione	I_{002}/I_{004}	I_{001}/I_{003}	I_{002}/I_{004}	I_{001}/I_{003}	Fe+Mn+Cr	Fe+Mn+Cr
	Calcolato	Calcolato	Osservato	Osservato	Microson.*	Calcolato*
REC 4	1.69	1.32	1.56	1.28	1.9	1.5
REC 2	1.71	1.32	1.63	1.36	1.9	1.6
CV517b	1.91	1.33	1.91	1.65	2.6	2.8
CV532	1.99	1.32	1.85	1.35	2.9	2.6
94	1.94	1.33	1.94	1.98	2.6	2.9
92a	1.93	1.33	1.78	1.20	2.7	2.3
C2	1.92	1.33	2.02	1.66	2.7	3.3
LU82-10	1.97	1.32	1.85	1.68	2.8	2.6

* per metà cella.

TAB. 10.1. Vengono riportati per ciascun campione: a) i valori dei rapporti delle intensità sia per i riflessi calcolati che per quelli osservati; b) i contenuti in atomi pesanti misurati alla microsonda; c) i contenuti in atomi pesanti stimati mediante il diagramma di FIG. 10.2a.

Va tuttavia rimarcato che i valori calcolati non coincidono con i valori osservati, e che in media la deviazione dalle analisi della microsonda è del 14%. Varie sono le ragioni che possono spiegare ciò. Anzitutto, bisogna considerare che gli spettri di diffrazione calcolati vengono ottenuti considerando le coordinate di una sola struttura della clorite (JOSWIG *et al.*, 1980), ovviamente non adattabile a tutte le modificazioni composizionali qui considerate. Inoltre, bisogna tenere presente che le analisi in microsonda elettronica sono delle medie aritmetiche riferite a un numero molto limitato di cristalli di clorite, mentre le riprese diffrattometriche RX vengono effettuate su volumi di clorite molto maggiori. Vi sono poi gli effetti dovuti alla morfologia superficiale del preparato, che di volta in volta viene pressato manualmente dall'operatore nel portacampione, comporta un errore nella valutazione del rapporto delle intensità dei picchi. Non è stato possibile affrontare con studi sistematici la quantificazione delle differenze tra modello calcolato e osservato. Sulla base di esperienze di laboratorio pregresse (WEISS, comunicazione personale) l'effetto dovuto alla preparazione del campione sembra comunque assumere aspetti predominanti.

Per quanto riguarda invece la distribuzione del ferro, la FIG. 10.2b indica come tutte le cloriti qui studiate, seppur rappresentative di un ampio intervallo nel contenuto di

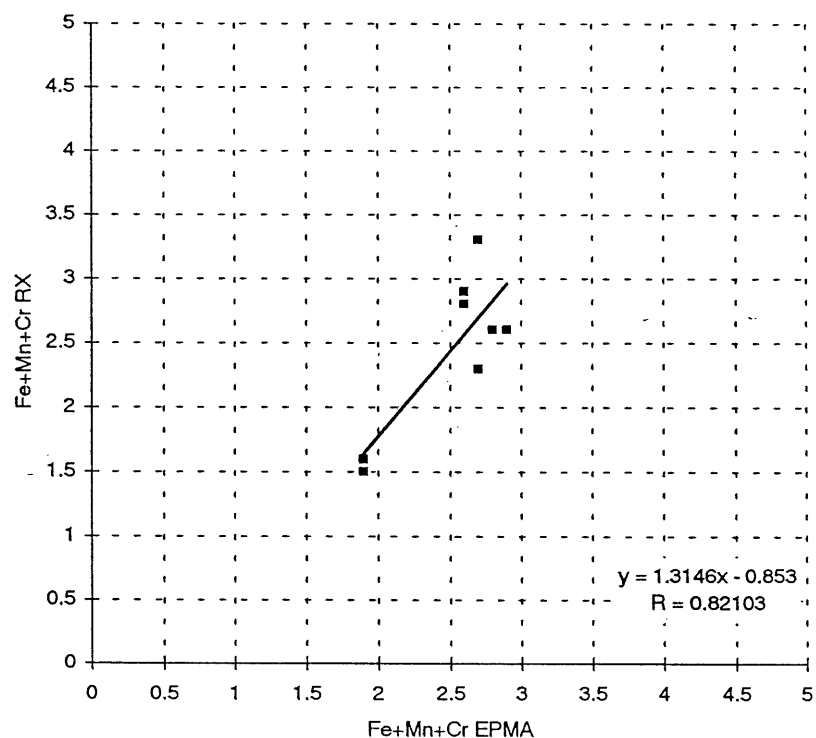
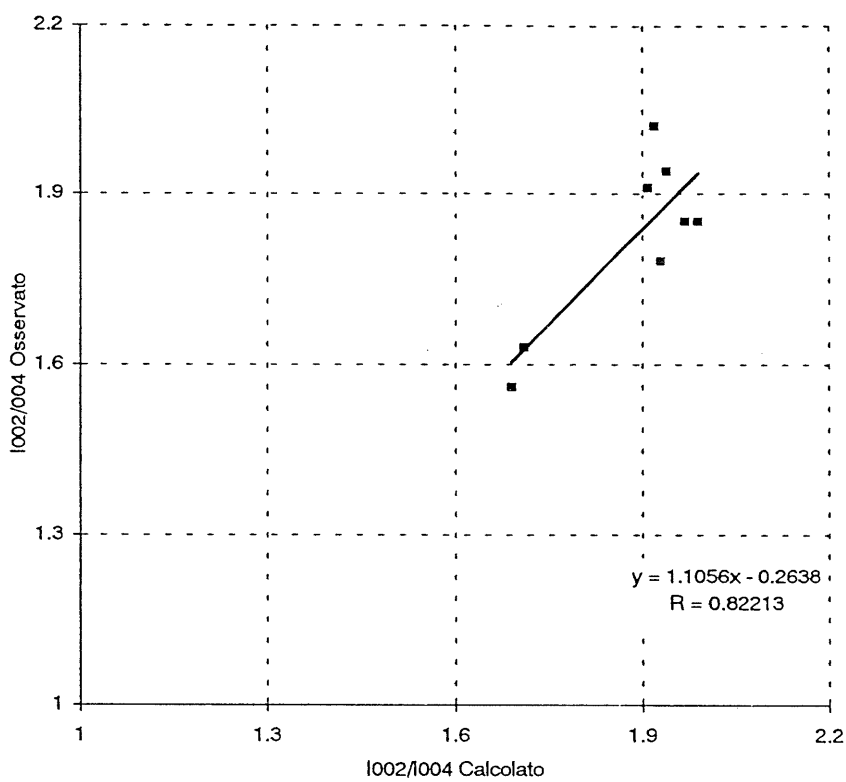


FIG. 10.3 (a) Relazione tra i rapporti delle intensità I_{002}/I_{004} calcolate e quelle osservate; (b) relazione tra i contenuti di Fe + Mn + Cr ottenuti con la microsonda elettronica e gli stessi stimati mediante diffrazione RX.

Fe_{tot} , avrebbero una distribuzione pressochè uguale del ferro tra interstrato e strato ottaedrico del pacchetto 2:1.

10.3 DETERMINAZIONE DEL POLITIPISMO (CON RIFERIMENTO ALLA TEORIA OD).

Nel campo termico del metamorfismo, la disposizione strutturale stabile della clorite va riferita alla sottofamiglia C prevista dalla Teoria OD (DORNBERGER & SCHIFF, 1964), ed al tipo IIb secondo la terminologia di BAILEY & BROWN (1962). Tuttavia, possono verificarsi complicazioni alle temperature più basse (anchimetamorfismo, zone di più bassa temperatura della facies degli scisti verdi: FREY, 1987), così come accade per la muscovite. Pertanto è stato ritenuto opportuno verificare, sia pur su pochi campioni, il politipismo delle cloriti di basso grado metamorfico. Per i motivi suddetti è stata data maggiore attenzione a campioni di più bassa temperatura (quattro, della zona della clorite), ma sono stati anche analizzati due campioni di più alta temperatura (zona del granato). Tale studio è stato condotto mediante analisi in diffrazione RX su polveri di concentrati di sei campioni. I campioni studiati sono:

- CV532: chamosite magnesifera di un clorioscisto, Valsugana, zona della clorite;
- C2: chamosite magnesifera di una metapelite, Comelico, zona della clorite;
- 27: chamosite magnesifera di una metapelite, Recoaro, zona della clorite ;
- REC4: clinocloro ferriero di una metabasite, Recoaro, zona della clorite;
- Lu82-10: chamosite magnesifera di una metapelite, Luson, zona dell'almandino;
- 94: chamosite magnesifera di una metapelite, Sarentino, zona dell'almandino.

Le ricerche analitiche qui di seguito riportate e le relative interpretazioni, sono state effettuate con riferimento alla Teoria OD, in quanto ho avuto modo di condurre tale studio nel laboratorio del Prof. Z. Weiss, uno degli autori di questa teoria. Viene comunque anche indicato un collegamento con la nomenclatura di BAILEY & BROWN (1962).

La condizione essenziale per ottenere, col metodo delle polveri, i riflessi diagnostici $20l$ e/o $13l$ delle quattro sottofamiglie A, B, C, D derivate dalla Teoria OD (vedasi paragrafo 3.2.3) è il raggiungimento di una orientazione perfettamente casuale dei cristalli che riempiono il capillare investito dalla radiazione X.

Questa condizione non è stata raggiunta a pieno nell'ambito di questa esperienza in quanto le intensità dei picchi diagnostici, compresi nell'intervallo tra 32° e 48° di 2θ ($CuK\alpha$), sono risultate essere notevolmente basse rispetto a quelle dei picchi basali. Ciò pone un limite all'applicazione della teoria OD di natura sistematica. E' stato tuttavia

possibile un tentativo di determinazione della sottofamiglia, mediante (vedasi FIG. 3.7a,b) indicizzazione dei picchi principali e confronto visivo con gli spettri calcolati. Dalla interpretazione dei diffrattogrammi ottenuti, è stato possibile assegnare tutte le cloriti in esame alla sottofamiglia C. Questa sottofamiglia corrisponde alla disposizione strutturale IIb secondo la terminologia di BAILEY & BROWN (1962), che è la più comune per le cloriti di rocce metamorfiche.

Per ogni campione vengono qui presentati:

- una tabella che mette a confronto, per i piani che forniscono i riflessi diagnostici di una determinata sottofamiglia, le distanze interplanari calcolate (in Å) con le distanze interplanari osservate (TAB. 10.2, 10.3., 10.4, 10.5, 10.6, 10.7);
- i relativi diffrattogrammi ricavati sperimentalmente (FIG. 10.4, 10.5, 10.6 10.7, 10.8, 10.9) dove sono evidenziati con un tratteggio i picchi non riferibili alla clorite.

Bisogna ricordare che mentre le distanze interplanari calcolate (programma DIFK91 di SMRCOV & WEISS, 1993) si riferiscono ad una chamosite e ad un clinocloro, gli spettri di diffrazione calcolati utili per il confronto visivo (FIG. 3.7a,b) si riferiscono rispettivamente ad un clinocloro ed ad una chamosite magnesifera.

Di seguito sono commentati i risultati ottenuti campione per campione.

Campione CV532 : come è possibile notare in TAB. 10.2 e FIG. 10.4, la distribuzione delle posizioni e delle intensità dei picchi in questo campione è riconducibile a quella della sottofamiglia C per una chamosite magnesifera (vedasi FIG. 3.7b). Sono presenti inoltre due picchi (evidenziati da aree tratteggiate) non attribuibili alla clorite nè a quarzo, albite, ossidi di ferro, e per i quali non è stato ritenuto utile approfondire l'indagine per riconoscerne la natura.

Campione C2 : in questo caso (TAB. 10.3 e FIG. 10.5), un veloce confronto con gli spettri calcolati da WEISS (1991) permette di escludere l'appartenenza della clorite di questo campione alle sottofamiglie B e D. Malgrado l'intensità e la posizione dei picchi di indice 200, -202, 201 si discostino da quella della sottofamiglia C, la posizione e l'intensità dei picchi di indice: -203, 202, 204 ne determinano con sufficiente sicurezza l'appartenenza a tale sottofamiglia. La comparsa di un picco non riferibile alla clorite nella regione attorno ai 41° di 2θ indica la probabile presenza di biotite o di biotite interstratificata con clorite.

Campione 27 : malgrado la presenza di picchi della biotite e dell'ilmenite e l'assenza del picco con indice 200, -131 (TAB. 10.4 e FIG. 10.6), è tuttavia ancora possibile identificare, per comparazione con gli spettri di FIG. 3.7b, la distribuzione delle intensità tipiche della sottofamiglia C per una chamosite magnesifera.

hkl	d obs (chamosite magnesifera)	d cal (chamosite)
200. -131	2.694	2.670
-202. 131	2.615	2.609
201. -132	2.568	2.566
-203. 132	2.466	2.460
202. -133	2.400	2.400
-204. 133	2.273	2.273
203. -134	2.229	2.207
-205. 134	—	2.076
204. -135	2.012	2.012

TAB.10.2. Campione CV532: distanze interplanari osservate e calcolate.

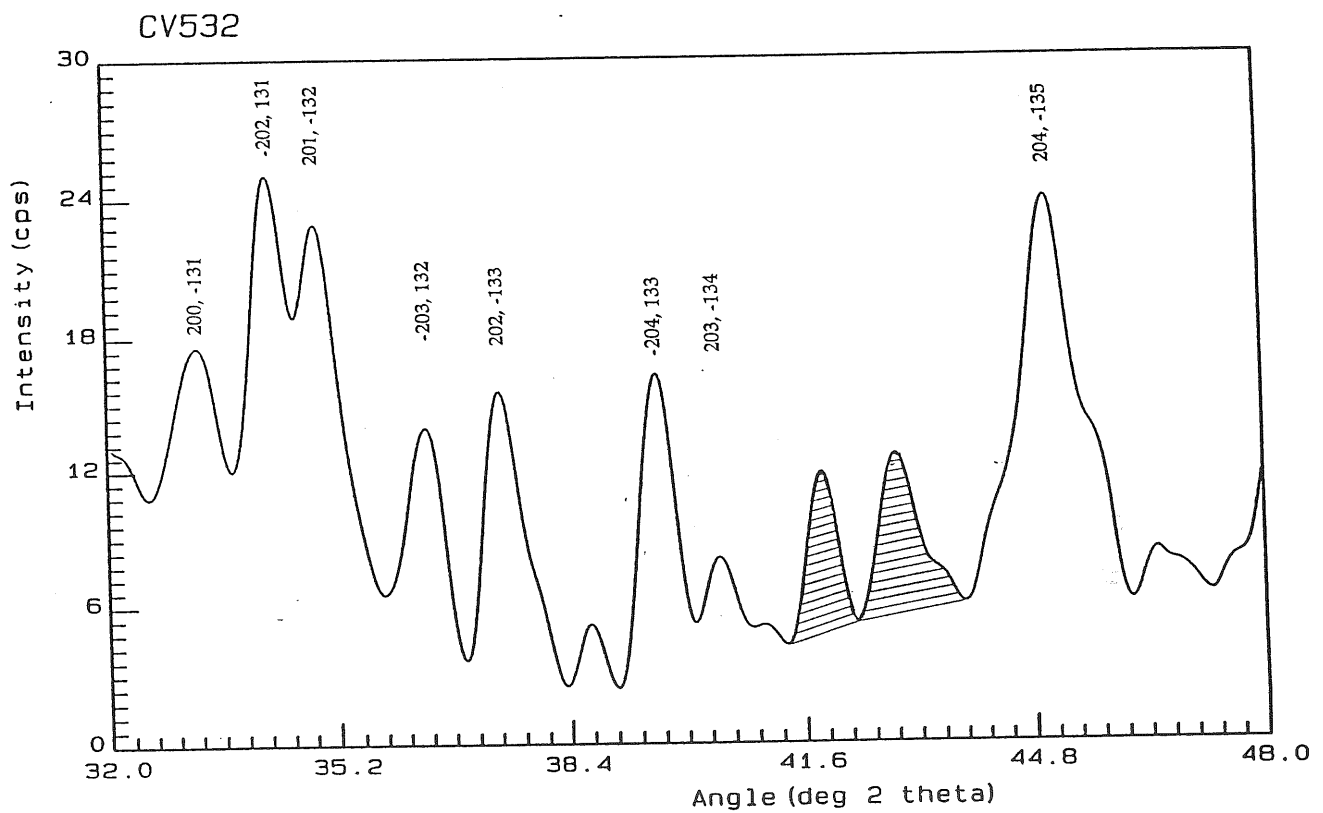


FIG. 10.4. Campione CV532: diffattogramma osservato (le aree tratteggiate si riferiscono a picchi di altre fasi).

hkl	d obs (chamosite magnesifera)	d cal (chamosite)
200. -131	2.665	2.670
-202. 131	2.613	2.690
201. -132	2.568	2.566
-203. 132	2.460	2.460
202. -133	2.399	2.400
-204. 133	2.271	2.273
203. -134	2.214	2.207
-205. 134	—	2.076
204. -135	2.012	2.012

TAB. 10.3. Campione C2: distanze interplanari osservate e calcolate.

C2

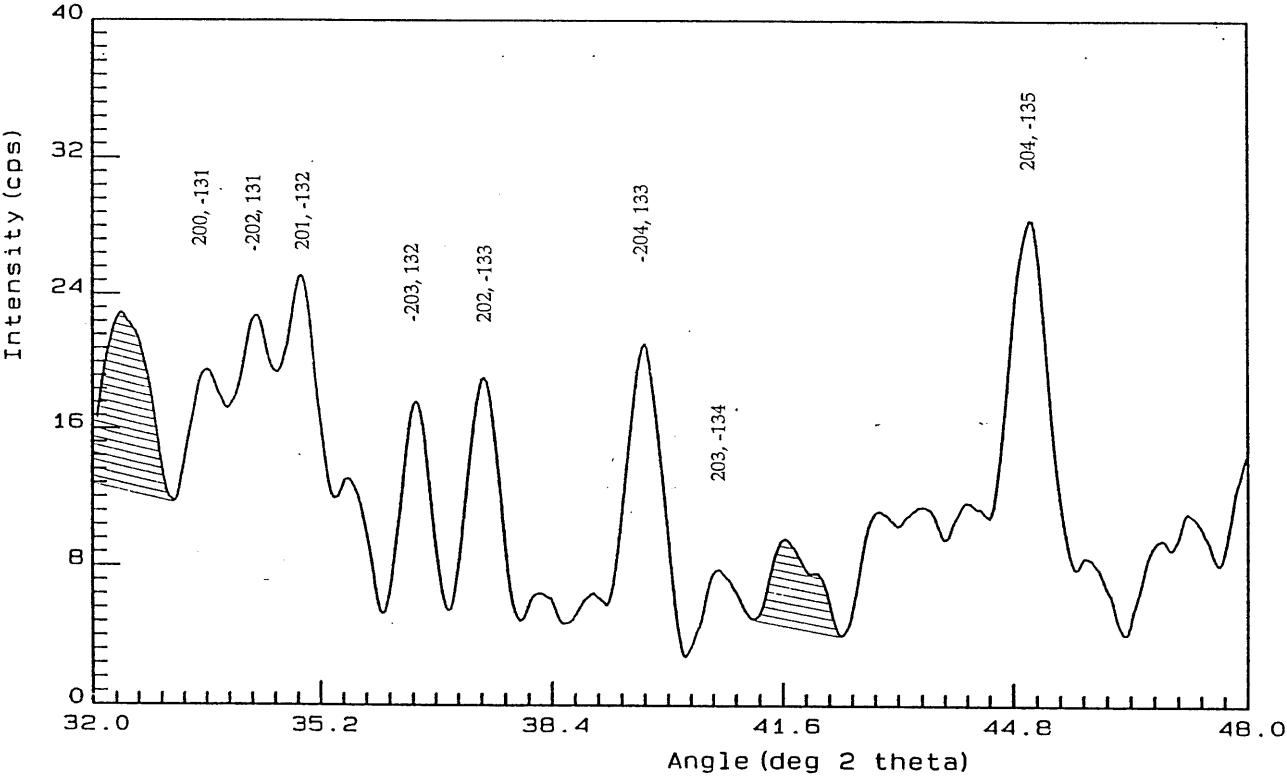


FIG. 10.5. Campione C2: diffrattoGRAMMA osservato (le aree tratteggiate si riferiscono a picchi di altre fasi).

hkl	d obs (chamosite magnesifera)	d cal (chamosite)
200. -131		2.670
-202. 131	2.609	2.609
201. -132	2.559	2.566
-203. 132	2.450	2.460
202. -133	2.394	2.400
-204. 133	2.270	2.273
203. -134	2.226	2.207
-205. 134		2.076
204. -135	2.008	2.012

TAB. 10.4. Campione 27: distanze interplanari osservate e calcolate.

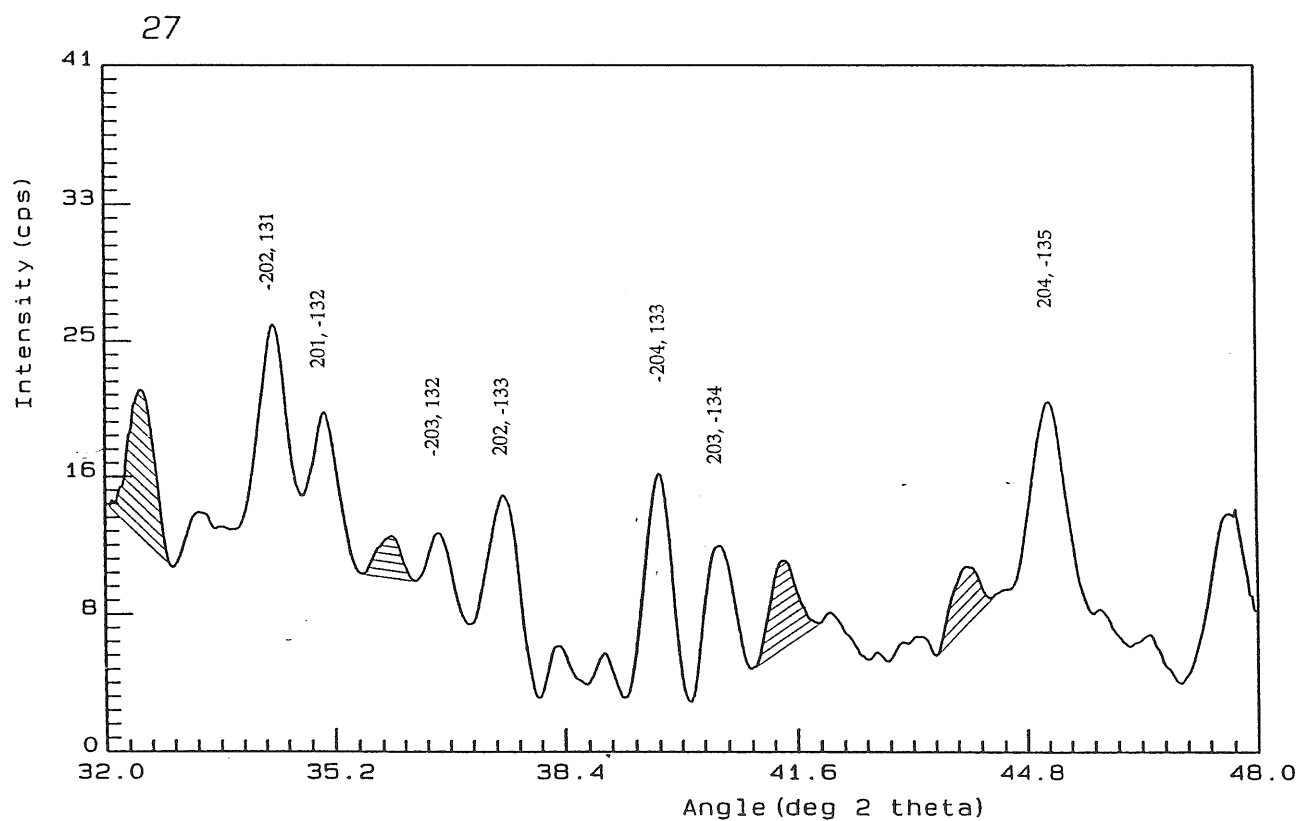


FIG. 10.6. Campione 27: diffattogramma osservato (le aree tratteggiate si riferiscono a picchi di altre fasi).

Campione REC4 : in questo caso (TAB. 10.5 e FIG. 10.7 la distribuzione delle intensità richiama quella diagnostica della sottofamiglia C per un clinocloro. Le distanze interplanari osservate in questo campione, coincidono in parte con quelle caratteristiche per una chamosite (tra $32-48^\circ$ di 2θ e per $2\theta > 44^\circ$) ed in parte coincidono con quelle caratteristiche di un clinocloro (tra 38° e 44°), entrambe della sottofamiglia C. Non bisogna però dimenticare che la clorite del campione REC4 non è un clinocloro bensì un clinocloro ferriifero. Ciò potrebbe spiegare eventuali incongruenze coi valori teorici calcolati (TAB. 10.3.4). Anche in questo caso abbiamo la presenza di un picco non identificabile con alcuna delle fasi presenti nel concentrato come impurità, indicando la probabile presenza fillosilicati interstratificati.

Campione Lu82-10 : i picchi dovuti alla diffrazione dei piani della biotite (TAB. 10.6 e FIG. 10.8) si sovrappongono a quelli della clorite mascherandone i picchi più diagnostici (tra 32° e 35° di 2θ). Sono presenti, inoltre, due picchi dovuti al granato almandino. La presenza, quindi, di biotite nel concentrato in percentuali elevate (in questo caso $>10\%$) può ostacolare lo studio del politipismo. Tuttavia, escludendo le sottofamiglie B e D sulla base di un rapido confronto dei relativi picchi, le posizioni e le intensità dei picchi 201, -203, 202, 204 nel campione Lu82-10 potrebbero riferirsi sia alla sottofamiglia A che C. Tuttavia bisogna ricordare (vedasi paragrafo 3.2.2) che l'appartenenza alla sottofamiglia A (IIa secondo la nomenclatura di BAILEY & BROWN, 1963) risulterebbe alquanto improbabile dato che tale sottofamiglia non è mai stata fino ad ora identificata nelle cloriti naturali.

Campione 94 : malgrado la presenza di numerosi picchi riferibili al granato almandino, all'ilmenite, alla biotite e ad una probabile presenza di fillosilicati interstratificati (TAB. 10.7 e FIG. 10.9), l'analisi dei tre riflessi 200, -202, 201 permette tuttavia di individuare con discreta sicurezza l'afferenza alla sottofamiglia C.

In conclusione, tutte le cloriti qui considerate possono essere riferite alla sottofamiglia C secondo la Teoria OD, e quindi al tipo IIB secondo BAILEY. Con il metodo delle polveri le intensità dei picchi diagnostici 02l, compresi nell'intervallo angolare tra 18° e 32° di 2θ ($\text{CuK}\alpha$), sono troppo deboli: pertanto non è stato possibile affrontare la classificazione dei politipi in gruppi MDO. Tuttavia, disponendo di dati di diffrazione elettronica (vedasi CAP. 8), si è cercato di sviluppare il calcolo utilizzando il programma DIFP (WEISS, 1980 e comunicazione personale). Sono stati a tal scopo calcolati i fattori di struttura $|F|^2$ relativi ai riflessi 02l, 04l e 11l, -11l utili al riconoscimento dei politipi MDO ad 1 o 2 strati appartenenti alla sottofamiglia C. Tali risultati vengono presentati in Appendice.

hkl	d obs (clinocloro ferrifero)	d cal (clinocloro)
200. -131	2.662	2.663
-202. 131	2.601	2.582
201. -132	2.559	2.539
-203. 132	2.459	2.437
202. -133	2.391	2.379
220	2.297	2.291
-204. 133	2.253	2.255
203. -134	2.199	2.193
-205. 134	2.066	2.063
204. -135	2.011	2.000

TAB. 10.5. Campione REC4: distanze interplanari osservate e calcolate.

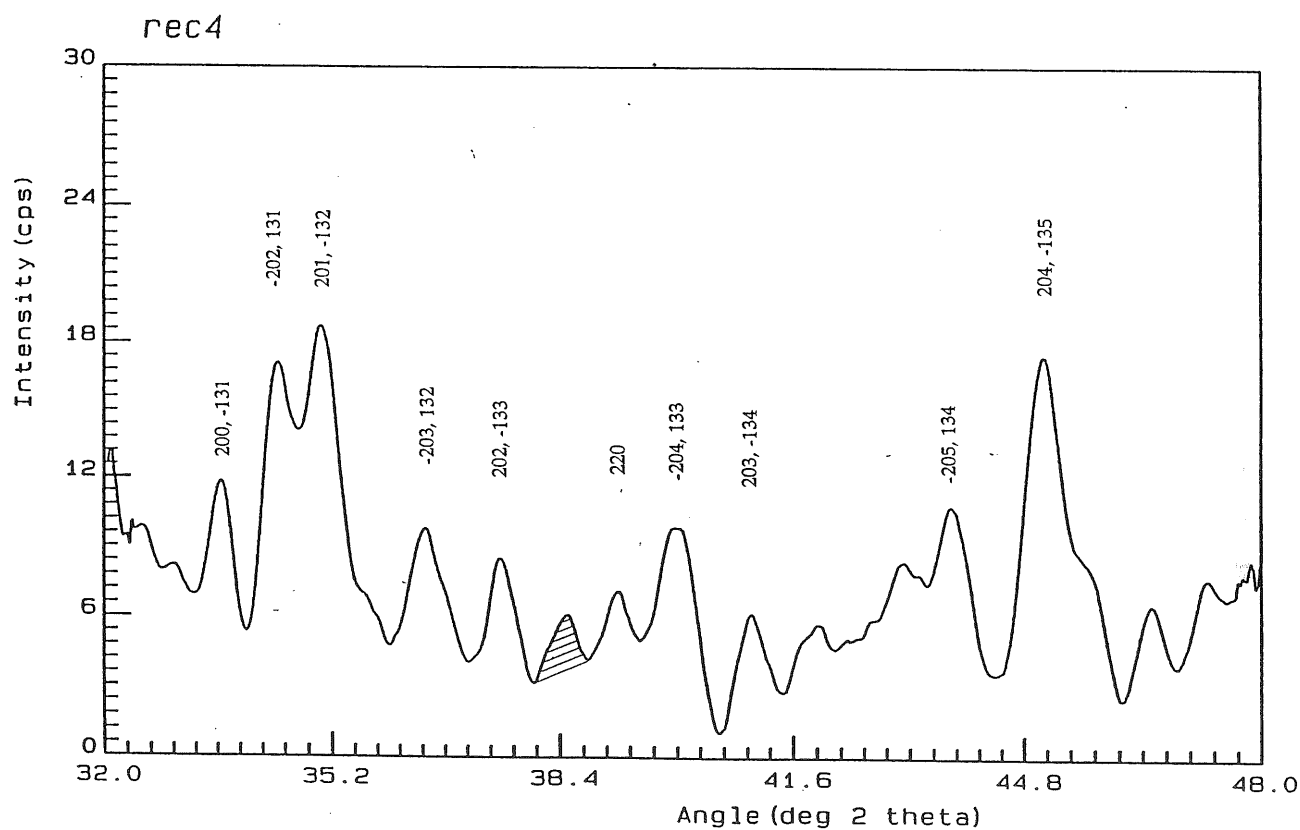


FIG. 10.7. Campione REC4: diffrattogramma osservato (le aree tratteggiate si riferiscono a picchi di altre fasi).

hkl	d obs (chamosite magnesifera)	d cal (chamosite)
200. -131	—	2.670
-202. 131	—	2.609
201. -132	2.563	2.566
-203. 132	2.459	2.460
202. -133	2.388	2.400
-204. 133	2.273	2.273
203. -134	2.204	2.207
-205. 134	—	2.076
204. -135	2.006	2.012

TAB. 10.6. Campione LU82-10: distanze interplanari osservate e calcolate.

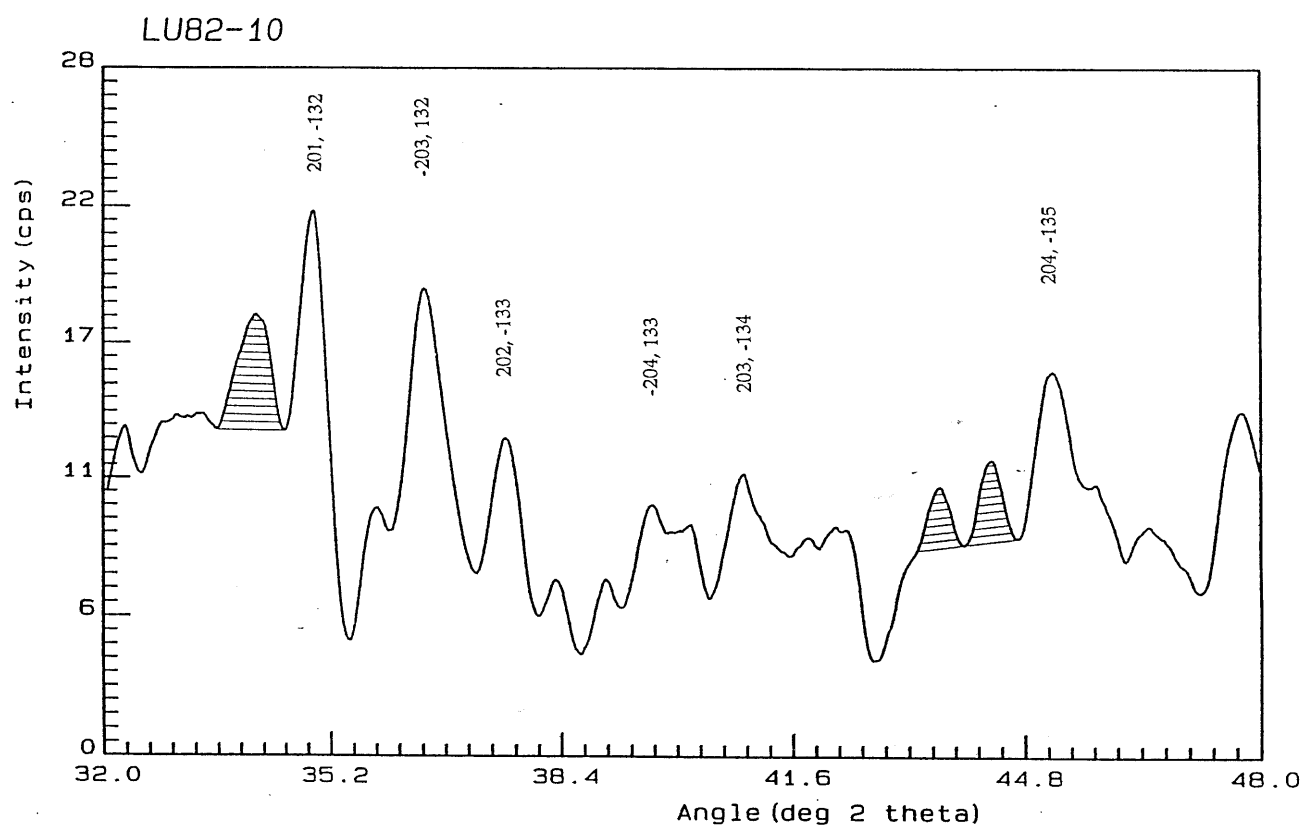


FIG. 10.8. Campione LU82-10: diffattogramma osservato (le aree tratteggiate si riferiscono a picchi di altre fasi).

hkl	d obs (chamosite magnesifera)	d cal (chamosite)
200. -131	2.689	2.670
-202. 131	2.596	2.609
201. -132	2.569	2.566
-203. 132	2.472	2.460
202. -133	2.385	2.400
-204. 133	2.282	2.273
203. -134	—	2.207
-205. 134	—	2.076
204. -135	2.008	2.012

TAB. 10.7. Campione 94: distanze interplanari osservate e calcolate.

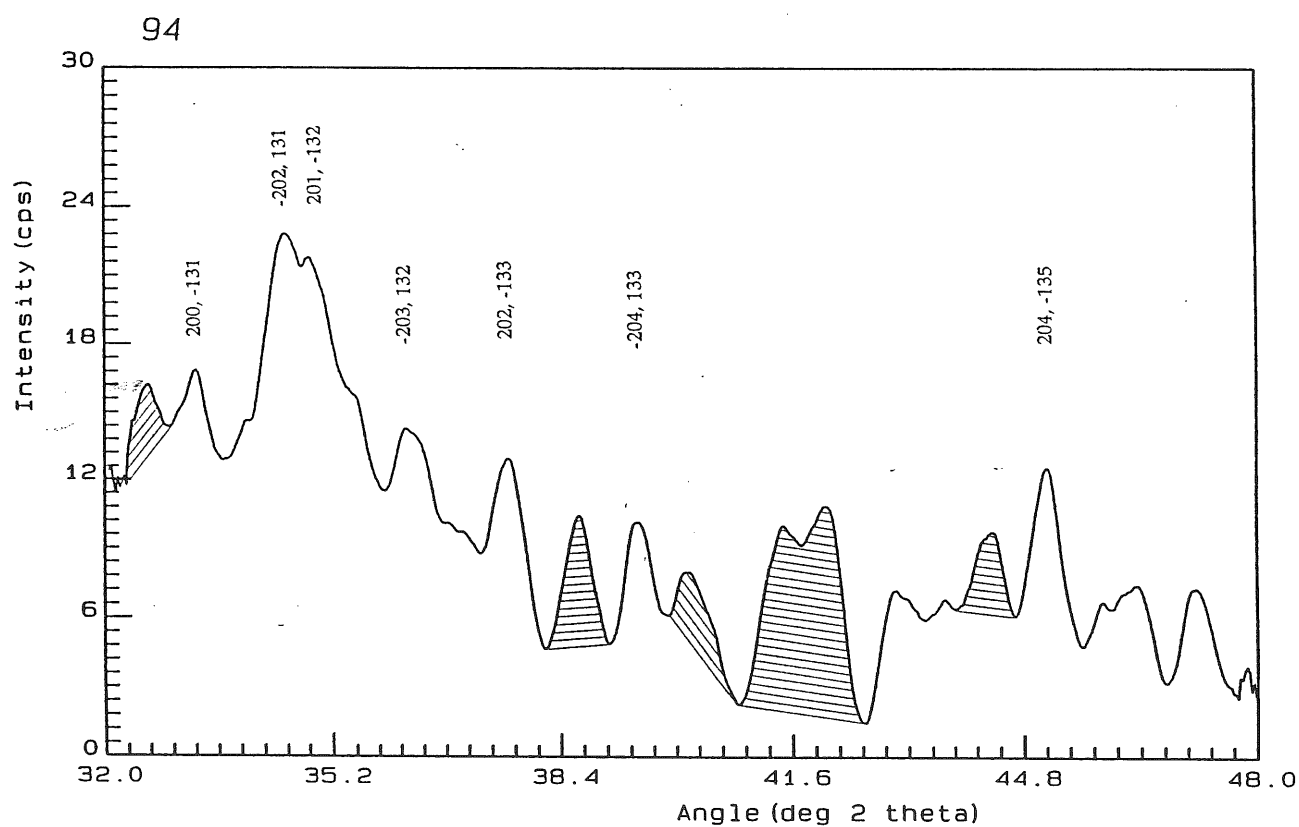


FIG. 10.9. Campione 94: diffattogramma osservato (le aree tratteggiate si riferiscono a picchi di altre fasi).

11. SPETTROSCOPIA MÖSSBAUER

La spettroscopia Mössbauer è una tecnica analitica che sfrutta le transizioni energetiche tra livelli nucleari mediante emissione ed assorbimento di energia sotto forma di fotoni. Pochi sono gli elementi chimici analizzabili attraverso questo metodo, tra questi il Fe che costituisce l'oggetto della presente ricerca.

I dati che si possono ricavare dalla spettroscopia Mössbauer sono inerenti alla configurazione strutturale del poliedro specificatamente occupato dallo ione in analisi (stato di valenza, distorsione del poliedro e di quelli immediatamente vicini), tale indagine dà pertanto informazioni molto localizzate "short range", diverse dai risultati della diffrazione X che fornisce informazioni mediate sui siti equivalenti dell'intero cristallo ("long range").

Il diverso stato di ossidazione del Fe è misurabile mediante le modificazioni indotte sulla simmetria elettronica strutturale attorno al nucleo di ferro.

E' noto dalla letteratura che numerosi studi sono stati effettuati per determinare con tale tecnica la distribuzione del Fe^{2+} tra siti *cis* e *trans* dello strato ottaedrico nelle miche (GOODMAN & WILSON, 1973; DYAR & BURNS, 1986; RANCOURT *et al.*, 1994), ed un acceso dibattito è tutt'ora in corso sulla effettiva possibilità di poter risolvere le componenti di questo elemento tra tali siti. Nel caso delle cloriti, la situazione è complicata rispetto alle miche dalla presenza di un secondo strato ottaedrico (l'interstrato). La difficoltà nella risoluzione del problema sta nel fatto che parametri iperfini del Fe^{2+} nello strato ottaedrico del pacchetto 2:1 sono troppo simili a quelli del Fe^{2+} nell'interstrato. Pertanto la distribuzione del Fe^{2+} osservabile tra i vari possibili siti ottaedrici (GOODMAN & BAIN, 1979; BLAAUW *et al.*, 1980; KODAMA *et al.*, 1982; TOWNSEND *et al.*, 1986), diviene una valutazione affetta da un grado troppo elevato di imprecisione.

Nell'ambito di questa tesi è stato effettuato uno studio in spettroscopia Mössbauer (presso l'Istituto di Scienze Fisiche della Facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università di Parma) su un concentrato di clorite delle metapeliti della Val Sarentino (campione 94), con lo scopo principale di determinare quantitativamente il rapporto $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}_{\text{tot}}$. La spettroscopia Mössbauer è uno dei pochi metodi fisici che permettono di "misurare" il Fe^{3+} , ed è stata qui impiegata pur su un solo campione al fine di confermare i dati riscontrabili sulla base delle analisi in microsonda. Si è inoltre tentato lo studio della distribuzione del Fe^{2+} tra strato ottaedrico del pacchetto 2:1 ed interstrato, pur nei limiti sopra esposti.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

a) il contenuto di Fe^{3+} stimato è di circa il 4% rispetto al Fe_{tot} ; questo dato è in accordo con i dati in spettroscopia Mössbauer in letteratura che indicano per le cloriti contenuti in Fe^{3+} inferiori al 15% del Fe_{tot} ;

b) per quanto riguarda la distribuzione del Fe^{2+} tra strato ottaedrico del pacchetto 2:1 ed interstrato, è stata confermata la difficoltà nel risolvere le componenti *cis* e *trans* con delle componenti discrete, e quindi non è stato possibile per tale via ricavare dallo spettro magnetico informazioni quantitative sull'occupazione dei diversi siti da parte del Fe^{2+} (G. Pedrazzi, comunicazione personale).

12. CONCLUSIONI RIASSUNTIVE

Le conoscenze sul significato petrologico del chimismo delle cloriti delle rocce metamorfiche sono alquanto scarse e non sistematiche. Il tentativo fatto da LAIRD (1988) di districare questa complessa problematica non ha fornito i risultati sperati, e solo per le metapeliti di bassa pressione e grado metamorfico medio-alto esiste un rigoroso inquadramento del problema (GUIDOTTI *et al.*, 1991). Rimaneva quindi sostanzialmente scoperto il campo termico di bassa temperatura, situazione particolarmente grave se si tiene conto del fatto che la clorite è un minerale praticamente onnipresente nelle rocce di basso grado, e che la composizione mineralogica di queste rocce (semplice e a basso numero di fasi) non offre molte possibilità di indagini petrologiche approfondite.

La presente tesi intendeva contribuire a colmare questo vuoto. Più precisamente, gli scopi di questa tesi erano quelli di:

- 1) produrre una copiosa quantità di nuovi dati analitici atti a riconoscere le entità delle varie soluzioni solide nelle cloriti di rocce metamorfiche di basso grado di *composizione comune*, cioè in sistemi chimici che non offrono particolari vincoli termodinamici che limitino l'ampiezza e la variabilità di dette soluzioni;
- 2) cercare di capire fino a che punto ed in che misura il chimismo delle cloriti di basso grado metamorfico è controllato dal chimismo del microsystema nel quale la clorite è cristallizzata, e fino a che punto invece dalle variabili intensive.

Per raggiungere tali scopi mi sono basata su dati chimici tratti dalla letteratura e su dati analitici nuovi, entrambi ottenuti mediante analisi in microsonda elettronica (EMPA).

La banca dati tratta dalla letteratura (555 analisi) è risultata alquanto limitata dal punto di vista quantitativo, e non interamente utilizzabile per una serie di motivi (CAP. 5.1), fra i quali la qualità dei dati analitici. E' stato pertanto ritenuto opportuno vagliare questi dati sulla base dei criteri cristallogchimici suggeriti da FOSTER (1962).

La banca dati nuova (2365 nuove analisi chimiche) è stata prodotta tutta con la stessa microsonda elettronica e in condizioni strumentali appositamente selezionate. Essa, oltre all'ampiezza numerica, ha quindi rispetto alla banca dati tratta dalla letteratura, il vantaggio della stretta omogeneità metodologica. L'errore analitico è di modesta ampiezza, contenuto graficamente nelle dimensioni dei simboli utilizzati nei vari diagrammi per rappresentare le singole analisi chimiche.

Quanto ai sopra citati criteri di FOSTER (1962) per la valutazione delle analisi chimiche delle cloriti, va detto che essi furono ricavati da detta autrice su una

popolazione di sole 150 analisi. Alla luce dell'esperienza da me acquisita nella gestione della banca di numerosi nuovi dati da me prodotti, propongo, come *criteri per valutare l'attendibilità delle analisi chimiche delle cloriti* di rocce metamorfiche comuni della facies degli scisti verdi, le seguenti condizioni (riferite a formula calcolata su 28 O):

- $\text{Na}+\text{K}+\text{Ca}<0.1$ a.f.u.
- occupanza ottaedrica totale compresa tra 11.7 e 12.1 a.f.u.
- contenuto in Si^{4+} compreso tra 5.00 e 5.65 a.f.u.

Ovviamente, lo studio e l'interpretazione di tutti questi dati chimici non potevano prescindere da una rigorosa impostazione di ogni stadio della mia ricerca (e quindi a partire dalla campionatura delle rocce da sottoporre alle nuove analisi EMPA fino all'interpretazione dei dati analitici), sia dal punto di vista strutturale-cristallochimico che da quello petrografico e petrologico, pur rimanendo petrologica la vocazione di questa ricerca. Questi aspetti, in un certo senso collaterali ma nel contempo essenziali sono stati considerati:

- da un punto di vista bibliografico (CAP. 3, nel quale viene presentato un quadro dei caratteri strutturali delle cloriti e relative problematiche, ivi incluso i problemi di nomenclatura e classificazione; CAP. 4, nel quale viene presentata criticamente una rassegna delle attuali conoscenze sulle cloriti metamorfiche e sulla utilizzazione di questo minerale per scopi geotermobarometrici;
- da un punto di vista sperimentale (CAP. 6, nel quale viene descritta la strategia di campionatura per l'acquisizione di nuovi dati analitici sulle cloriti, e vengono presentati i risultati dello studio petrografico dei rispettivi campioni, giungendo alla definizione dell'intervallo di T e P spettante ad ogni sottogruppo di campioni; CAP. 8, nel quale vengono riportati le motivazioni ed i risultati dell'analisi di sei cloriti in microscopia elettronica TEM).

Uno dei problemi che ho dovuto affrontare ed in qualche modo risolvere è quello della nomenclatura e classificazione delle cloriti, con particolare riferimento alle analisi di microsonda elettronica ed ai conseguenti limiti che essi hanno: alludo al fatto che queste analisi forniscono il Fe_{tot} e non i valori di Fe^{2+} e Fe^{3+} , che invece sono alla base delle classificazioni correnti delle cloriti (CAP. 3.5). A tal proposito ho elaborato, in collaborazione con il Prof. Z. Weiss, *un sistema di classificazione e un collegato schema di flusso* (FIG. 3.14), che consentono di attribuire ad ogni analisi EMPA di clorite un nome rigorosamente definito dal punto di vista cristallochimico tratto dalla nomenclatura di WEISS (1991).

Un altro problema che ho ritenuto fondamentale nell'accingermi a studiare cloriti di basso grado metamorfico è quello della possibile presenza nelle cloriti di strati misti e/o interlamellature di altre fasi silicatiche a costituire lamelle che poi, analizzate alla microsonda, darebbero risultati aberranti. Tale problema, che è certamente serio nell'anchimetamorfismo (FREY, 1987), richiedeva una verifica sulle cloriti da me analizzate. Tale verifica è stata da me fatta mediante *osservazioni in microscopia elettronica TEM*, anche se su pochi campioni data la sopracitata vocazione petrologica di questa tesi. Le cloriti così studiate, sei in tutto, di cui quattro tratte da metapeliti della zona termica di più bassa temperatura e due della zona termica di più alta temperatura della facies degli scisti verdi, hanno in particolare indicato che anche le cloriti di più bassa temperatura da me studiate hanno un buon grado di cristallizzazione, e non hanno rivelato in diffrazione elettronica e spettroscopia EDS (TEM) significative interlamellature con altre fasi mineralogiche (CAP.8).

Gli studi mineralogici sulle cloriti da me considerate sono anche stati estesi ad *analisi in diffrazione RX su polveri*, che hanno fornito stime sul contenuto in Fe+Mn+Cr e della distribuzione del Fe tra strato ottaedrico del pacchetto 2:1 ed interstrato, nonché tentativi di determinazione del politipismo. Quanto a quest'ultimo aspetto, ne è risultata l'indicazione che le cloriti così studiate vanno riferite alla sottofamiglia C secondo la Teoria OD. Quanto alla stima del contenuto in atomi pesanti, ho potuto constatare una discreta congruenza (coefficiente di correlazione lineare $r=0.8$) fra valori analitici EMPA e valori così ottenuti. E' stata infine colta l'indicazione che il Fe è distribuito pressochè ugualmente tra interstrato e strato ottaedrico del pacchetto 2:1.

Un concentrato di clorite è anche stato sottoposto a *spettroscopia Mössbauer*, al fine di verificare lo stato di ossidazione del Fe. Il campione è stato scelto in modo tale che offrisse una prova petrologica (precisamente basata sull'esistenza di Ilm + sostanza carboniosa) che, per quella roccia, durante il metamorfismo la fO_2 fosse stata tamponata a bassi valori. Tale analisi ha consentito di accertare che solo il 4% del Fe_{tot} di questa clorite è Fe^{3+} . Trattasi purtroppo di un singolo dato, quindi numericamente sproporzionato rispetto al gran numero di lamelle analizzate con la microsonda elettronica. Tuttavia ritengo ragionevole poter desumere da questo risultato la convinzione che, quando la clorite coesiste con ilmenite e sostanza carboniosa, solo una piccola percentuale del ferro sia trivalente. Tale convinzione è anche supportata dai risultati analoghi di DYAR *et al.* (1992). Questa circostanza, se generalizzabile, comporta una notevole semplificazione della cristallografia delle cloriti metamorfiche e delle relative interpretazioni petrologiche.

Passo ora a descrivere gli aspetti petrologici delle ricerche effettuate e dei relativi risultati, e nel fare ciò considero separatamente il lavoro effettuato sulla banca dati tratti dalla letteratura (CAP. 7) da quello basato sui dati analitici EMPA nuovi (CAP. 9).

1) *INDICAZIONI DESUNTE DALLA BANCA DATI DELLA LETTERATURA* (CAP. 7). Questa banca dati è stata utilizzata per tentare di discernere gli effetti, sul chimismo delle cloriti, imposti da: 1) chimismo globale della roccia; 2) temperatura; 3) pressione. Benché i dati chimici analitici utilizzati siano eterogenei per condizioni analitiche, o quanto meno per laboratori di provenienza, e quindi una parte della dispersione dei punti è riferibile a questa causa, il complesso dei dati mostra chiaramente che: (i) il chimismo delle cloriti è controllato in maniera evidente da ciascuno di questi tre fattori, ma che (ii) il controllo prevalente è quello esercitato dal chimismo della roccia. Ad ulteriore commento della banca dati tratta dalla letteratura, vorrei aggiungere il disagio da me provato nel valutare il senso mineralogico e petrologico di dati analitici riportati come media di più punti analisi senza avere una conoscenza del grado di variabilità (deviazione standard o altro) delle analisi mediate.

Per quanto riguarda *gli effetti determinati della composizione chimica della roccia ospite* le principali indicazioni sono le seguenti:

- 1) la maggior parte delle cloriti di metapeliti ha contenuti di Si e di Mg (a.f.u.) più bassi di quelle delle metabasiti, ma contenuti di $(Al^{VI} + vacanze)$ maggiori; le cloriti di rocce felsiche hanno per lo più contenuti di Si a.f.u. intermedi rispetto a quelle di metapeliti e di metabasiti, contenuti di Fe più alti delle cloriti di metabasiti e contenuti di $(Al^{VI} + vacanze)$ più bassi delle cloriti di metapeliti;
- 2) con riferimento alla classificazione di HEY (1954), le cloriti di metapeliti sono ripidoliti ricche in Fe, mentre quelle delle metabasiti sono per lo più picnocloriti povere in Fe e talora ripidoliti povere in ferro; le cloriti di metarioliti sono per lo più localizzate fra il campo delle ripidoliti e quello delle picnocloriti.

Per quanto riguarda *gli effetti della temperatura e quelli della pressione*, un'indicazione meno vaga delle variazioni sistematiche del chimismo della clorite in funzione di queste variabili intensive sarebbe stata fornita selezionando le analisi della clorite in base alle relative associazioni mineralogiche, e considerando solo le cloriti di associazioni limitanti. Tale selezione tuttavia non è stata possibile perché spesso mancano nelle pubblicazioni da cui le analisi delle cloriti sono state tratte, le necessarie indicazioni. Pertanto tutte le analisi sono state trattate prescindendo dalle specifiche associazioni mineralogiche, limitandosi a tenere però separate le analisi di cloriti di

metapeliti da quelle di metabasiti e da quelle di rocce ignee felsiche. Le indicazioni principali in tal modo riconosciute sono:

- 1) nell'ambito delle metapeliti, le cloriti della facies anfibolitica hanno valori del rapporto Mg/Fe per lo più maggiori di 1.0;
- 2) nelle metapeliti della facies degli scisti verdi di bassa pressione, le cloriti della zona dell'almandino sono confinate a valori di TK più bassi rispetto a quelle delle zone della clorite e della biotite che sembrano fra loro indistinguibili; la presenza di cloritoide nell'associazione mineralogica determina ovviamente una minore variabilità compositiva delle cloriti;
- 3) le poche cloriti di metapeliti di alta pressione di questa banca dati mostrano una tendenza verso valori di sostituzione TK più bassi rispetto alle altre cloriti;
- 4) nelle metabasiti, le cloriti di pressione intermedia sono confinate a valori di TK molto alti ed a contenuti di Al^{IV} per lo più maggiori di 2.5 a.f.u., nonché ad alti valori di Mg.

II) INDICAZIONI DESUNTE DALLA BANCA DATI ANALITICI NUOVI (CAP. 9).

Questi nuovi dati chimici EMPA si riferiscono, come già detto, a sole cloriti di rocce metamorfiche di basso grad. I relativi campioni di roccia sono stati opportunamente scelti in maniera da coprire l'intero intervallo termico della facies degli scisti verdi e, nei limiti in cui è stato possibile, i vari tipi barici di metamorfismo. Tale inciso riduttivo è dovuto al fatto che per vari motivi la campionatura effettivamente disponibile è risultata meno completa rispetto a quanto programmato, ed il numero di campioni non ugualmente rappresentativo per le varie condizioni T, P. Fra i motivi sopra menzionati di questo vario grado di rappresentatività, va anche citato il fatto che non sempre i campioni ottenuti da altri autori su mia richiesta sono risultati di composizione adeguata a quanto atteso.

Tutti i campioni di roccia sono stati classificati e trattati separatamente in base alla litologia (metapeliti, metarioliti, metabasiti) e, nell'ambito di ciascuno di questi gruppi, sono state esplorate le entità delle sostituzioni TK, AM, FM nelle cloriti, e relative variazioni in funzione della T, P e composizione del microsistema in cui ogni lamella analizzata è situata.

Anzitutto va notato che tutti i diagrammi mostrati nel CAP. 9 presentano, in misura maggiore o minore, una dispersione di punti relativamente importante; ma va anche precisato che tale dispersione non è in alcuna misura influenzata dall'errore analitico, la cui ampiezza è molto modesta e, se graficamente rappresentata, rientra in ogni caso nelle dimensioni del simbolo utilizzato per rappresentare il singolo dato analitico. La dispersione quindi è reale, e ciò implica che la posizione di ogni punto nei vari

diagrammi è controllata dalle variabilità intensive ed estensive. Si rimanda al CAP. 9.6 per quanto riguarda gli effetti del chimismo globale del sistema, della pressione e della temperatura, onde evitare ripetizioni. Mi limito a menzionare che:

1) l'effetto del chimismo globale della roccia risulta evidente per quanto riguarda (i) sia la sostituzione TK, i cui valori discriminano bene la maggior parte delle cloriti di metapeliti (valori di TK più alti) da quelle di metabasiti; sia (ii) il rapporto Mg/Fe, che è minore di 1.0 per la quasi totalità delle cloriti di metapeliti e per tutte quelle delle metabasiti, mentre è > 1.0 per la maggior parte delle cloriti di metabasiti; queste ultime sono confinate per lo più nella parte del campo delle ripidoliti alte in Si e basse in Fe (e in parte cadono anche nel campo delle picnocloriti), mentre le cloriti di metapeliti cadono nella parte del campo delle ripidoliti alte in Fe e con valori di Si molto bassi;

2) l'effetto di pressioni crescenti sembra produrre nelle cloriti da me studiate: (i) una progressiva diminuzione dell'entità di TK e diminuzione dell'intervallo di variazione di Mg/Fe nelle cloriti di metapeliti; (ii) un restringimento dell'intervallo di variazione dei valori TK nelle metabasiti;

3) l'effetto di temperature crescenti sembra produrre, pur con qualche deviazione, aumenti della sostituzione TK e del rapporto Mg/Fe, visibili anche nelle metarioliti.

Va tuttavia precisato che, sulle variazioni sopra delineate in funzione della temperatura e della pressione, prevale per entità la variabilità compositiva della clorite in funzione della composizione mineralogica del microsito. Ciò indica chiaramente una situazione di non equilibrio, verosimilmente spiegabile ricorrendo al concetto di "equilibrio locale" o "equilibrio a mosaico" (ZEN, 1963).

Ritengo di non poter concludere questa discussione sugli effetti della temperatura sul chimismo delle cloriti da me studiate che, ripeto, appartengono tutte alla facies degli scisti verdi, senza aver tentato un confronto con i risultati di GUIDOTTI *et al.* (1991) sulle cloriti di più alto grado metamorfico di bassa pressione. Non è però possibile un confronto approfondito che voglia essere anche rigoroso, se si tiene conto del fatto che le cloriti da me studiate sono quasi tutte, per progettazione della presente ricerca, di associazioni non limitanti, mentre quelle degli autori sopracitati sono sempre di associazioni limitanti o "quasi limitanti". Il confronto, quindi, non può che essere approssimativo, e pertanto mi limito a farlo in maniera grafica nella FIG. 12.1. Essa mostra, sulla base della FIG. 5 di GUIDOTTI *et al.* (1991), per i principali contenuti chimici p.f.u.: (i) la spezzata congiungente i valori relativi alle cloriti delle 3 zone termiche della facies degli scisti verdi, l'ultima delle quali, T4, corrisponde sostanzialmente alla zona 2 di GUIDOTTI *et al.* (1991); e (ii) la spezzata presentata dai predetti autori

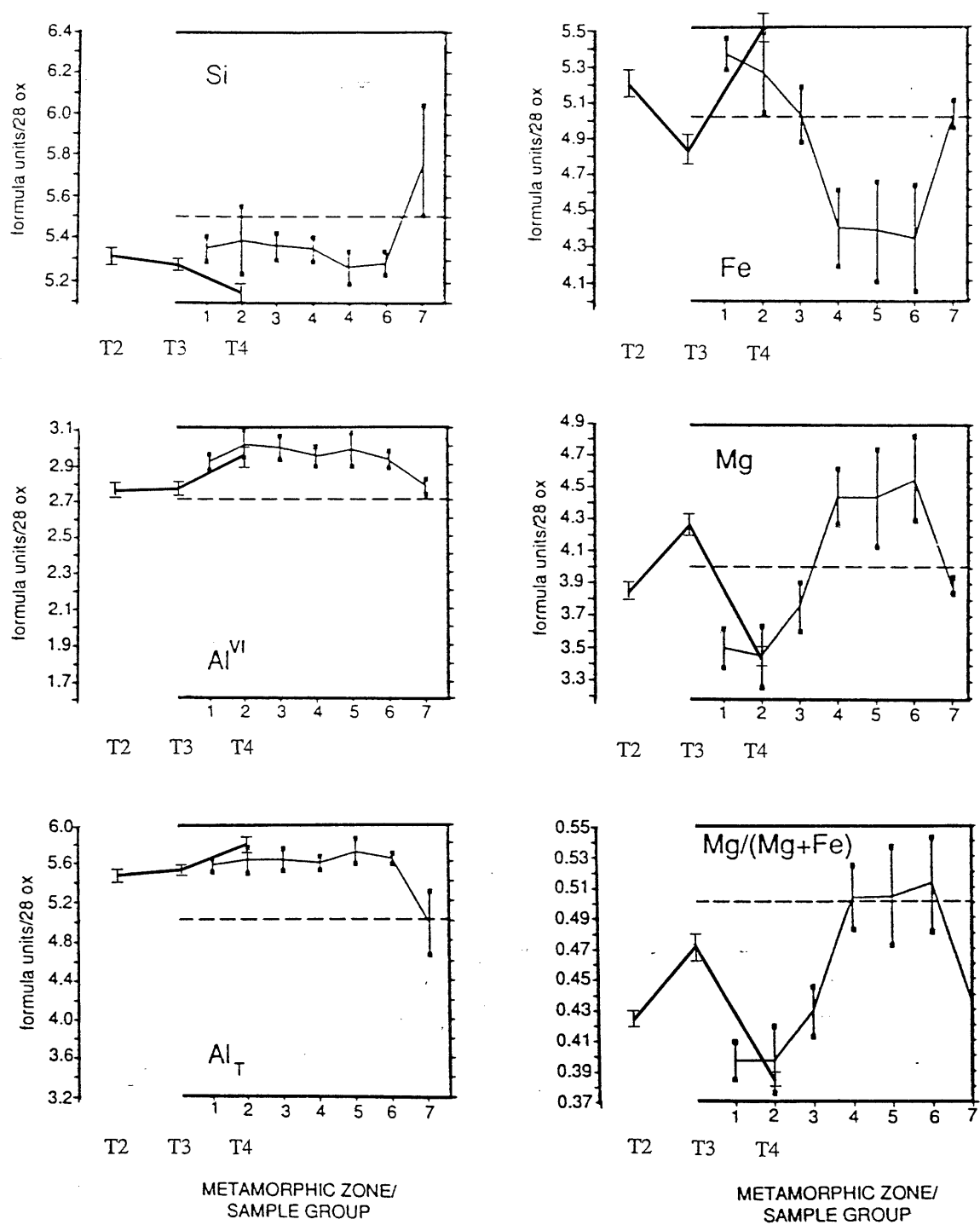


FIG.12.1: Variazione dei contenuti chimici principali nella clorite di metapeliti di bassa pressione in tutto l'arco termico del metamorfismo. La rappresentazione è basata su dati selezionati (come motivato nel paragrafo 9.6) dal presente lavoro (spezzata T2-T4) e su dati tratti da GUIDOTTI *et al.* (1991), da cui questa figura è ispirata.

per le cloriti della facies anfibolitica. La combinazione delle due spezzate costituisce una pur non omogenea rappresentazione delle variazioni del chimismo delle cloriti di metapeliti di bassa pressione in tutto l'intervallo termico del metamorfismo.

Il raccordo fra il tratto di spezzata relativo alle basse temperature (T2-T4) e quello di più alta temperatura (3-6) è soltanto grossolano. Ciò non può destare meraviglia se si tiene conto del fatto che, come già rilevato sopra, si confrontano dati relativi ad associazioni non limitanti (spezzata T2-T4) con dati di associazioni limitanti o "quasi limitanti" (spezzata 2-6). Inoltre, non è da escludere una piccola differenza nei valori di pressione tra le due campionature, né va dimenticato che i due gruppi di dati analitici EMPA derivano da due laboratori diversi. Nonostante ciò, gli andamenti rappresentati in FIG. 12.1 costituiscono un affidabile punto di partenza - prima non disponibile - per comprendere il comportamento delle soluzioni solide nelle cloriti in tutto l'arco termico del metamorfismo.

* * *

Da quanto sopra esposto risulta che la clorite, pur non costituendo ancora un minerale di immediata utilizzazione geobarometrica e geotermometrica nell'ambito della facies degli scisti verdi, ha dimostrato nella presente ricerca di possedere le potenzialità per tali utilizzazioni, *purchè nell'ambito di un rigoroso contesto petrologico*: infatti le più importanti sostituzioni isomorfe risultano essere controllate da ciascuno dei tre parametri considerati (T, P, chimismo globale del sistema), ma le entità delle variazioni indotte da ciascuno di questi tre sono grossomodo dello stesso ordine di grandezza di quelle prodotte da ciascuno degli altri due parametri. Senza questo rigoroso inquadramento petrologico, ogni tentativo di geotermometria e geobarometria basato sulle cloriti risulta vano. E certamente il piccolo numero di fasi mineralogiche tipico delle rocce di basso grado metamorfico è indubbiamente un limite serio all'uso geotermobarometrico del chimismo delle cloriti di questo intervallo termico.

Certamente il presente lavoro non risolve, né intendeva risolverli, tutti i problemi collegati alla geotermobarometria basata sulle cloriti di rocce di basso grado metamorfico. Esso comunque di certo rappresenta un contributo significativo, se non altro per il tipo di impostazione della ricerca svolta e per la notevole quantità di nuovi dati analitici EMPA metodologicamente omogenei ed affidabili, dati che incrementano in maniera massiccia la disponibilità mondiale di dati compositivi EMPA delle cloriti, e che rappresentano una banca dati la cui potenzialità, nel campo della mineralogia e della petrologia del metamorfico certamente non si esaurisce con le conclusioni da me per ora formulate.

13. BIBLIOGRAFIA

- AHN, J.H., PEACOR, D.R. & ESSENE, E.J. (1986) Cation-diffusion induced characteristic beam damage in transmission electron microscope images micas. *Ultramicroscopy*, 19, 375-382.
- ALBEE, A.L. (1962) Relationships between the mineral association, chemical composition and physical properties of the chlorite series. *Am. Miner.*, 47, 851-870.
- AMOURIC, M., GIANETTO, I. & PROUST, D. (1988) 7, 10, 14Å mixed-layer phyllosilicates studied structurally by TEM in pelitic rocks of the Piemontese zone (Venezuela). *Bull. Mineral.*, 111, 29-37.
- APTED, M.J. & LIOU, J.G. (1983) Phase relations among greenschists, epidote-amphibolite, and amphibolite in a basaltic system. *Am. Journ. Sc.*, 283-A, 328-354.
- BAILEY, S.W. (1972) Structures of layer silicates. *Minerological Society Monograph No. 5. Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification* (1984) Reprinting eds.: G.W. Brindley & G. Brown.
- BAILEY, S.W. (1972) Determination of chlorite compositions by x-ray spacings and intensities. *Clays and Clay Minerals*, 20, 381-388.
- BAILEY, S.W. (1975) Chlorites. In: *Giesecking, J.E., ed. Soil Component*, 2, 191-263, Springer-Verlag, New York.
- BAILEY, S.W. (1980) Summary of recommendation of AIPEA Nomenclature Committee. *Clays and Clay minerals*, 15, 85-93.
- BAILEY, S.W. (1988) Chlorites: structures and crystal chemistry. In: *Bailey, S.W., ed. Hydrous Phyllosilicates (exclusive of micas). Reviews of Mineralogy*, 19, 347-404.
- BAILEY, S.W. & BROWN, B.E. (1962) Chlorite Polytypism: I Regular and Semi Random One-layer Structures. *Am. Miner.*, 47, 819-850.
- BALTATZIS, E.G. & KATAGAS, C.G. (1984) The pumpellyite-actinolite and contiguous facies in part of the Phyllite-Quartzite Series, central Northern Peloponnesus, Greece. *J. Metam. Geol.*, 2, 349-363.
- BAYLISS, P. (1975) Nomenclature of the trioctahedral chlorites. *Canadian Mineralogist*, 13, 178-180.
- BEVINS, R.E. & MERRIMAN, R.J. (1988) Compositional controls on coexisting prehnite-actinolite and prehnite-pumpellyite facies assemblages in the Tal y Fan metabasite intrusion, North Wales: implications for Caledonian metamorphic field. *Journ. Metam. Geol.*, 6, 17-39.
- BEVINS, R.E., ROBINSON, D. & ROWBOTHAM, G. (1991) Compositional variations in mafic phyllosilicates from regional low-grade metabasites and application of the chlorite geothermometer. *J. Metam. Geol.*, 9, 711-721.
- BLAAUW, C., STROINK, G. & LEIPER, W. (1980) Mössbauer analysis of talc and chlorite. *J. Physique*, 41, 28-29.
- BLACK, P.M. (1975) Mineralogy of New Caledonian metamorphic rocks. IV. Sheet silicates from the Ouégoa District. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 49, 269-284.

- DE ROO, J.A. & LISTER, G.S. (1987) Deformation of a thrust complex in the Col de la Vanoise, Vanoise Massif, French Alps. *Geol.Soc.Am.Bull.*, 98, 388-399.
- DE VECCHI, G. (1989a) Considerazioni sul Pennidico dei Tauri (settore italiano). *Studi Trent. Sc. Nat.*, 65, *Acta Geol.*, 179-194
- DE VECCHI, G. (1989b) Metaophiolite suite in the south-western Tauern Window (Italian sector). *Mem. Sci. Geol.*, XLI, 51-59.
- DE VECCHI, G. & BAGGIO, P. (1982) The Pennine zone of the Vizze region in the western Tauern Window. *Boll. Soc. Geol. It.*, 101, 89-116.
- DE VECCHI, G. & PICCIRILLO, E.M. (1968) Le ofioliti mesozoiche associate ai calcescisti negli Alti Tauri sud-occidentali (Valli di Vizze e di Fundres-Alto Adige). *Mem. Museo Trid. Sc. Nat.*, 17, 99-146.
- DEER, W., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1962) Sheet minerals. In: *Rock forming minerals*, John Wiley, 3.
- DORNBERGER-SCHIFF, K. (1964) Grundzuge einer Theorie der OD-Strukturen aus Schichten. *Abh. Dtsch. Akad. Wiss., Berlin, Kl. Chem. Geol. Biol.*, 3.
- DRITS, V.A. & KARAVAN, YU.V. (1969) Polytypes of the two-packet chlorites. *Acta Cryst.*, B25, 632-639.
- DRITS, V.A. & SMOLIAR-ZVIAGINA, B.B. (1992) Relations between unit-cell parameters and cation composition of sheet silicates II: trioctahedral chlorites. *Geologica Carpathica, Series Clays* 1, 35-40.
- DUROVIC, S. (1994) Classification of phyllosilicates according to the symmetry of their octahedral sheets. *Ceramics-Silikaty*, 38, 81-84.
- DYAR, M.D. & BURNS, R.G. (1986) Mössbauer spectral study of ferruginous one-layer trioctahedral micas. *Am. Miner.*, 71, 851-961.
- DYAR, M.D. & GUIDOTTI, C., HARPER, G., MC KIBBEN, M. & SACCOCIA, P. (1992) Controls on Ferric iron in Chlorite. *Geol. Soc. Am., Abstracts with Programs*, 24, 130.
- DYAR, M.D., GUIDOTTI C., HOLDAWAY, M.J. & COLUCCI, M. (1993) Nonstoichiometric hydrogen contents in common rock-forming hydroxyl silicates. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 57, 2913-2918.
- ERNST, W.G., SEKI, Y., ONUKI, H. & GILBERT, M.C. (1970) Comparative study of low-grade metamorphism in the California Coast Ranges and the Outer Metamorphic Belt of Japan. *Geol. Soc. Am. Mem.*, 124.
- EVAIN, M., DENIARD, P., JOUANNEAUX, A. & BREC, R. (1993) Potential of the INEL X-ray position-sensitive detector: a general study of the Debye-Scherrer setting. *Journ. Appl. Cryst.*, 26, 563-569.
- FETTES, D.J., GRAHAM, C.M., SASSI, F.P. & SCOLARI, A. (1976) The lateral spacing of potassic white micas and facies series variation across the Caledonides. *Scott. J. Geol.*, 12(3), 227-236.
- FOSTER, M.D. (1962) Interpretation of the composition and a classification of the chlorites. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper* 414-A, 1-33.

- BOLES, J.R. & COOMBS D.S. (1977) Zeolite facies alteration of sandstones in the southland syncline, New Zealand. *Am.Journ.Sc.*, 277, 982-1012.
- BREARLEY, A. J. (1990) Transmission electron microscopy of phyllosilicate minerals from low-grade chloritoid-bearing rocks, north Wales. In : MacKinnon, Mumpton (eds), *Electron-optical methods in clay science, CMS workshop lectures vol.2, Clay Science*, 135-152.
- BRINDLEY, G.W. (1961) Chlorite minerals. In: Brown, G. (ed.), *The X-ray identification and crystal structures of clay minerals, second edition*. London Mineral. Soc., London, 1-50.
- BRINDLEY, G.W. & GILLERY, F.H. (1956) X-ray identification of chlorite species. *Am. Miner.*, 41, 169-186.
- BROWN, G. (1955) The effect of isomorphous substitution on the intensities of (00l) reflections of mica- and chlorite type structures. *Miner. Mag.*, 30, 657-665.
- BROWN, B.E. & BAILEY, S.W. (1963) Chlorite polytypism: II. Crystal structures of a one-layer Cr-chlorite. *Am. Miner.*, 48, 42-61.
- CALLEGARI, E. & DE PIERI, R. (1966) Crystallographical observations on some chess-board albites. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 47, 99-110.
- CARDIN, A. (1983) Evoluzione tettonico-metamorfica delle filladi sudalpine della Val Sarentino (Alpi Orientali): *Tesi di Laurea, Univ.di Padova, non pubblicata*.
- CARDIN, A., PISANI F., SASSI, F.P., VISONÀ, D. & ZIRPOLI, G. (1985) Le metapeliti e le anfiboliti del basamento sudalpino delle Alpi Sarentine (Alpi occidentali). *Mem.Sci. Geol. Univ. Padova*, 37, 379-406.
- CARMIGNANI, L., FRANCESCHELLI, M., PERTUSATI, P.C., MEMMI, I. & RICCI, C.A (1982) An example of compositional control of the celadonitic content of muscovite and the incoming of biotite in metapelites (Nurra, NW Sardinia). *Neu. Jb. Mineral. Mh.*, 289-311.
- CATHELINAU M. (1988) Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. *Clay Miner.* 23, 471-485.
- CATHELINAU M. & NIEVA D. (1985) A chlorite solid solution geothermometer. The Los Azufres (Mexico) geothermal system. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 91, 235-244.
- CHO, M., LIOU, J.G. & MARUYAMA, S. (1986) Transition from the Zeolite to Prehnite-Pumpellyite Facies in the Karmutsen Metabasites, Vancouver Island, British Columbia. *J. Petrol.*, 27, 467-494.
- CLARKE, G.L., GUIRAUD, M., POWELL, R. & BURG, J.P. (1987) Metamorphism in the Olary Block, South Australia: compression with cooling in a Proterozoic fold belt. *J. Metam. Geol.*, 5, 291-306.
- CLIFF, G. & LORIMER, G.W. (1975) The quantitative analysis of thin specimens. *J. Micr.*, 103, 203-207.
- COOPER, A.F. (1972) Progressive metamorphism of metabasic rocks from the Haast Schist Group of Southern New Zealand. *J. Petrol.*, 13, 3, 457-492.
- DE CARITAT, P., HUTCHEON, I. & WALSHE, J.L. (1993) Chlorite geothermometry. A review. *Clays and Clay Minerals*, 41, 2, 219-23.

- JIANG, WEI-TEH & PEACOR, D.R. (1994) Prograde transitions of corrensite and chlorite in low-grade pelitic rocks from the Gaspé Peninsula, Quebec. *Clays and Clay Minerals*, 42, 497-517.
- JIANG, WEI-TEH, PEACOR, D.R. & BUSECK, P.R. (1994) Chlorite Geothermometry? Contamination and apparent octahedral vacancies. *Clays and Clay Minerals*, 42, 5, 593-605.
- JOSWIG, W., FUESS, H., & MASON, S.A. (1989) A neutron diffraction study of a one-layer monoclinic chlorite. *Clays and Clay Minerals*, 37, 511-514.
- JOSWIG, W., FUESS, H., ROTHBAUER, R., TAKEUCHI, Y., & MASON, S.A. (1980) A neutron diffraction study of a one-layer triclinic chlorite (penninite). *Am. Miner.* 65, 349-353.
- JOWETT, E.C. (1991) Fitting iron and magnesium into the hydrothermal chlorite geothermometer: GAC/MAC/SEG joint. *Annual Meeting (Toronto, May 27-29, (1991)) Program with Abstract* 16, A62.
- KAPEZHINSKAS, K.B. (1965) Statistic analysis of chlorites and their paragenetical types. *Nauka, Moscow*, 1-135 (in Russian).
- KARABINOS, P. (1985) Garnet and staurolite producing reactions in a chlorite-chloritoid schist. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 90, 262-275.
- KAWACHI, Y. (1975) Pumpellyite-actinolite and contiguous facies metamorphism in part of upper Wakatipu district, South Island, New Zealand. *Journ.Geol.Geophys.*, 18, 401-441.
- KEPEZHINSKAS, K. (1965) Composition of chlorites as determined from their physical properties. *Akad. Nauk S.S.S.R, Earth Sci. Sect.*, 164, 126-129.
- KLAPER, E.M. & BUCHER-NURMINEN, K. (1987) Alpine metamorphism of pelitic schists in the Nufenen Pass area, Lepontine Alps. *J. Metam. Geol.*, 5, 175-194.
- KODAMA, H., LONGWORTH, G. & TOWNSEND, M.G. (1982) A Mössbauer investigation of some chlorites and their oxidation products. *Can. Min.*, 20, 585-592.
- KRANIDIOTIS, P., & MACLEAN, W.H. (1987) Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge Massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Econ.Geol.*, 82, 1898-1911.
- KRETZ, R. (1983) Symbols for rock-forming minerals. *Am. Miner.*, 68, 277-279.
- KURATA, H. & BANNO, S. (1974) Low-grade progressive metamorphism of pelitic schists of the Sazare area, Sanbagawa Metamorphic Terrain in central Sikoku, Japan. *J. Petrol.*, 15, 361-382.
- LAIRD, J. (1988) Chlorites: Metamorphic petrology. In: Bailey, S.W. ed. *Hydrous Phyllosilicates (exclusive of micas)*. *Reviews of Mineralogy*, 19, 405-454.
- LANG, H.M. & RICE, J.M. (1985) Regression modelling of metamorphic reactions in metapelites, Snow Peak, Northern Idaho. *J. Petrol.*, 26, 857-887.
- LEE, H.J., PEACOR, D.R., LEWIS, D.D. & WINTSCH, R.P. (1984) Chlorite-illite/muscovite interlayered and interstratified crystals: A TEM/STEM study. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 88, 372-385.
- LEITCH, E.C. (1975) Zonation of low grade regional metamorphic rocks, Numbucca Slate Belt, Northeastern New South Wales. *Geol. Soc. Aust. J.*, 22, 413-422.

- FOSTER, M.D. (1964) Water content of micas and chlorites. *Geological Survey Professional Paper* 474-F.
- FREY, M. (1987) The reaction-isograd kaolinite+quartz=pyrophyllite+H₂O, Helvetic Alps, Switzerland. *SMPM*, 67, 1-11.
- GARCIA, F.N., & GALLEGO, M.R. (1982) Metodologia Para el Estudio de la Clorita en Rocas Metamorficas. *SIMP*, 38, 1429-1436.
- GOFFÉ, B. & VELDE, B. (1984) Contrasted metamorphic evolution in thrust cover units of the Briançonnais zone (French Alps): a model for the conservation of HP-LT metamorphic mineral assemblages. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 68, 351-360.
- GOODMAN, B.A. & BAIN, D.C. (1979) Mössbauer spectra of chlorites and their decomposition products. In: Mortland, M.M., and Farmer, V.C. (eds.), *Proc. 6th Int. Clay Conf. 1978: Elsevier, New York*, 65-74.
- GOODMAN, B.A. & WILSON, M.J. (1973) A study of the weathering of a biotite using the Mössbauer effect. *Mineral. Mag.*, 39, 448-454.
- GUIDOTTI, C.V., TEICHMANN, F., & HENRY, D.J. (1991) Chlorite-bearing polymetamorphic metapelites in the Rangeley area, Maine: Evidence for equilibrium assemblages. *Am. Miner.*, 76, 867-879.
- GUIDOTTI, C.V., YATES, M.G., DYAR, M.D. & TAYLOR, M.E. (1994) Petrogenetic implications of the Fe³⁺ content of muscovite in pelitic schists. *Am. Miner.*, 79, 793-795.
- GUTHRIE, G.D. JR., & VEBLEN, D.R. (1990) Interpreting one-dimensional high-resolution transmission electron micrographs of sheet silicates by computer simulation. *Am. Miner.*, 75, 276-288.
- HAYES, J.B. (1970) Polytypism of chlorite in sedimentary rocks. *Clays and Clay Minerals*, 18, 285-306.
- HELMS, T.S., MCSWEEN, H.Y.JR. & LABOTKA, T.C. (1987) Petrology of a Georgia Blue Ridge amphibolite unit with hornblende+gedrite+kyanite+staurolite. *Am. Miner.*, 72, 1086-1096.
- HEY, M.H. (1954) A new review of the chlorites. *Min.Mag.*, 30, 277-292.
- HOLZNER, J. (1938) Beiträge zur Kenntnis der varistischen Gesteins- und Mineralprovinz im Lahn-Dillgebiet. 7. Eisenchlorite aus dem Lahnggebiet; chemische Formel und Valenzausgleich bei den Eisenchloriten: *Neu. Jahrb. Miner. Geol. Paläont., Beilage-Band 73, Abt. A.*, 389-418.
- HUTCHEON, I. (1990) Clay-carbonate reactions in the Venture area, Scotia Shelf, Nova Scotia, Canada. In: R.J. Spencer and I.-M. Chou, (eds.), *Fluid-Mineral Interactions: A Tribute to H.P. Eugster, The Geochemical Society Special Publication*, 2, 199-212.
- ISHIZUKA H. (1985) Prograde metamorphism of the Horokanai Ophiolite in the Kamuikotan Zone, Hokkaido, Japan. *J. Petrol.*, 26, 391-417.
- JACOBSON, C.E. (1989) Estimation of Fe³⁺ from electron microprobe analyses: observations on calcic amphibole and chlorite. *J. Metam. Geol.*, 7, 507-513.

- NELSON, D.O. & GUGGENHEIM, S. (1993) Inferred limitations to the oxidation of Fe in chlorite: A high-temperature single-crystal X-ray study. *Am. Miner.*, 78, 1197-1207.
- NIETO GARCIA, F., MARTIN-RAMOS, J.D., LOPEZ-AGUAYO, F., & RODRIGUEZ-GALLEGU, M. (1980) Relacion entre las intensidades de las reflexiones basales y el contenido y distribucion de atomos pesados en cloritas. *Cuad. Geol.*, v.11, pp.31-40.
- NIETO GARCIA, F. & RODRIGUEZ GALLEGU, M. (1982) Metodologia para el studio de la clorita en rocas metamorficas. *Rend. SIMP.*, 38(3), 1429-1436.
- OFFLER R. & AGUIRRE L. (1984) Mineral chemistry of low grade metamorphic rocks, Western Ande, Peru. *N. Jb. Min. Abh.*, 150, 229-246.
- OINUMA, K., SCHIMODA, S., & SUDO, T. (1972) Triangular diagrams in use of a survey of crystal chemistry of chlorites. *Proc.Intern. Clay Conf. (Madrid)*, pp. 123-130.
- ORCEL, J. (1926) Essai de classification des chlorites. *Acad. Sci. (Paris) Comtes Rendus*, 183, 363-582.
- PAULING, L. (1930) The structure of the chlorites. *U.S. Natl. Acad.Sci. Proc.* 16, 578-582.
- PE-PIPER, G. (1984) Low-grade metamorphic minerals from the Triassic volcanic rocks of Tyros, Zarouhla, and Kalamae, Peloponnese, Greece. *Neu. Jb. Mineral. Abh.*, 149, 163-175.
- PETRUK, W. (1964) Determination of the heavy atom content in chlorite by means of the x-ray diffractometer. *Am. Miner.*, 49, 61-74.
- PHILLIPS, T.L., LOVELESS, J.K., & BAILEY, S.W. (1980) Cr³⁺ coordination in chlorites: a structural study of ten chromian chlorites. *Am. Miner.*, 65, 112-122.
- RANCOURT, D.G., PING, J.Y. & BERMAN, R.G. (1994) Mössbauer spectroscopy of minerals. III octahedral-site Fe²⁺ quadrupole splitting distributions in the phlogopite-annite series. *Phys.Chem.Minerals*, 21, 258-267.
- RAO, T.R. (1977) Distribution of elements between coexisting phengite and chlorite from the greenschist facies of the Tennant Creek area, Central Australia. *Lithos*, 10, 103-112.
- RAUSELL-COLOM, J.A., WIEWIÓRA, A. & MATESANZ, E. (1991) Relationship between composition and d₀₀₁ for chlorite. *Am. Miner.*, 76, 1373-1379.
- RULE, A.C., & BAILEY, S.W. (1987) Refinement of the crystal structure of a monoclinic ferroan clinocllore. *Clays and Clay Minerals*, 35, 129-138.
- SASSI, F.P. & SPIESS, R. (1993) The south-alpine metamorphic basement in the eastern Alps In: Von Raumer, J.F. & Neubauer, F., (Eds), *Pre-Mesozoic geology in the Alps*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (1993), 599-607.
- SASSI, F.P. & ZIRPOLI, G. (1965) Contributo alle conoscenze degli scisti cristallini del Comelico (Cadore). *Mem. Acc. Patavina SS. LL. AA.*, 78, 35-72.
- SASSI, F.P. & ZIRPOLI, G. (1989) The lithostratigraphic sequence in the southalpine basement of the eastern Alps. *Rend. Soc. Geol. It.*, 12, 397-402.
- SCHLIESTEDT, M., BARTSCH, V., CARL, M., MATTHEWS, A. & HENJES-KUNST, F. (1994) The P-T path of greenschist-facies rocks from the island of Kithnos (Cyclades, Greece). *Chem. Erde*, 54, 281-296.

- LISTER, J.S., & BAILEY, S.W. (1967) Chlorite polytypism: IV. Regular two-layer structures. *Am. Miner.*, 52, 1614-1631.
- MARUYAMA, S. & LIOU, J.G. (1985) The stability of Ca-Na pyroxene in low-grade metabasites of high-pressure intermediate facies series. *Am. Miner.*, 70, 16-29.
- MARUYAMA, S. & LIOU, J.G. (1988) Petrology of Franciscan metabasites *along the jadeite-glaucophane type facies series, Cazadero, California*. *J. Petrol.*, 29, 1-37.
- MARUYAMA, S., KAZUHIRO, S. & LIOU, J.G. (1983) Greenschist-amphibolite transition equilibria at low pressures. *J. Petrol.*, 23, 383-426.
- MARUYAMA, S., SUZUKI, K. & LIOU, J.G. (1983) Greenschist-amphibolite transition at low pressures. *J. Petrol.*, 24, 583-604.
- MAUGUIN, G. (1928) Étude des chlorites au moyen des rayons X. *Comptes Rend. Acad. Sci. Paris*, 186, 1852.
- MAUGUIN, G. (1930) La maille cristalline des chlorites. *Bull.Soc.Franc.Min.*, 53, 297.
- MAZZOLI, C. & PERUZZO L. (1995) Pressure control on Fe, Mg distribution among the coexisting phases in chloritoid-bearing metapelite. *Plinius, Supplemento italiano all'Eur. J. Mineral.*, 215-216.
- MAZZOLI, C., SASSI, R. & VOZÀROVÀ, A. (1992) The pressure character of the Alpine metamorphism in the Central and Inner Western Carpathians (Czecho-Slovakia) *In: J. Vozàr (ed.), Western Carpathians Eastern Alps Dinarides, Spec. vol. to the problems of the Paleozoic geodyn. domains, IGCP Proj. N.274, Newsletter N.4*, 109-117.
- MCMURCHY, R.C. (1934) The crystal structure of the chlorite minerals. *Z. Krist.* 88, 420-432.
- MELI S. (1995) I porfiroidi sudalpini delle alpi orientali: studio petrografico e geochimico. *Tesi di Dottorato, padova*, 298 pp.
- MELLINI, M., NIETO, F., ALVAREZ, F. & GOMEZ-PUGNAIRE, M.T. (1991) Mica-chlorite intermixing and altered chlorite from the Nevado-Filabride micaschists, Southern Spain. *Eur. J. Mineral.*, 3, 27-38.
- MENGEL, F. & RIVERS, T. (1994) Metamorphism of pelitic rocks in the paleoproterozoic Ramah Group, Saglek Area, Northern Labrador: Mineral reactions, P-T conditions and influence of bulk composition. *Canadian Mineralogist*, 32, 781-801.
- MIELKE, H., BLÜMEL, P. & LANGER, K. (1979) Regional low-pressure metamorphism of low and medium grade in metapelites and-psammities of the Fichtelgebirge area, NE-Bavaria. *Neu. Jb. Mineral. Abh.*, 83-112.
- MIYASHIRO, A., & SHIDO, F. (1985) Tschermak substitution in low-and middle-grade pelitic schists. *J. Petrol.*, 26, 449-487.
- MPOSKOS, E. (1989) High-Pressure metamorphism in gneisses und pelitic schists in the East Rhodope Zone (N.Greece). *Miner. Petrol.*, 41, 25-39.
- MPOSKOS, E. & LIATI A. (1993) Metamorphic evolution of metapelites in the high-pressure terrane of the Rhodope zone, Northern Greece. *Canadian Mineralogist*, 31, 401-424.

- THOMPSON, J.B. JR. (1981) An introduction to the mineralogy and petrology of the biopyroxite. In: D.E. Veblen, Ed., *Amphiboles and other hydrous pyroxenes mineralogy*. *Rev. Mineral.*, 9A, 141-188.
- THOMPSON, J.B. JR. (1982) Composition space: an algebraic and geometric approach. In: J.M. Ferry, Ed., *Characterization of metamorphism through mineral equilibria*. *Rev. Mineral.*, 10, 1-31.
- THOMPSON P.H. & LECLAIR A.D. (1987) Chloritoid-hornblende assemblages in quartz-muscovite pelitic rocks of the central metasedimentary belt, Grenville Province, Canada. *J. Metam. Geol.*, 5, 415-436.
- THOMPSON, J.B. JR., LAIRD, J. & THOMPSON, A.B. (1982) Reaction in amphibolite, greenschist and blueschist. *Jour. Petrol.*, 23, 1-27.
- THOMPSON, A.B., LYTTLE, P.T. & THOMPSON, J.B. JR. (1977) Mineral reactions and A-Na-K and A-F-M facies types in the Gassetts schist, Vermont. *Am. Journ. Sc.*, 277, 1124-1151.
- TOWNSEND, M.G., LONGWORTH, G. & KODAMA, H. (1986) Magnetic interaction at low temperature in chlorite and its products of oxidation: a Mössbauer investigation. *Can. Min.*, 24, 105-115.
- TSCHERMAK, G. (1890) Die chloritgruppe. *Sitzungsber d.K. Akad. Wiss. Wien, Abt I*, 99, pp. 174-266.
- TSCHERMAK, G. (1891) Die chloritgruppe. *Sitzungsber d.K. Akad. Wiss. Wien, Abt I*, 100, pp. 29-107.
- VEBLEN, D.R. & FERRY, J.M. (1983) A TEM study of the biotite-chlorite reaction and comparison with petrologic observations. *Am. Miner.*, 68, 1160-1168.
- VELDE, B., & RUMBLE III, D., (1977) Alumina content of chlorite in muscovite-bearing assemblages. *Carnegie Inst., Washington Year Book*, v. 76, pp. 621-623.
- VELDE, B., EL MOUTAOUAKKIL, N. & IJIMA, A. (1991) Compositional homogeneity in low-temperature chlorites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 107, 21-26.
- VON ENGELHARDT, W. (1942) Die strukturen von thuringit, bavalit und chamosit und ihre stellung in der chloritgruppe. *Z. Krist.*, 104, 142-159.
- VUICHARD, J.P. & BALLÈVRE M. (1988) Garnet-chloritoid equilibria in eclogitic pelitic rocks from the Sesia zone (Western Alps): their bearing on phase relations in high pressure metapelites. *Journ. Metam. Geol.*, 6, 135-157.
- WALKER, J.R. (1989) Polytypism of chlorite in very low grade metamorphic rocks. *Am. Miner.*, 74, 738-743.
- WALKER, J.R. & THOMPSON, G.R. (1990) Structural variations in chlorite and illite in a diagenetic sequence from the Imperial Valley, California. *Clays and Clay Minerals*, 38, 315-321.
- WALSHE, J.L. (1986) A six-component chlorite solid solution model and the conditions of chlorite formation in hydrothermal and geothermal systems. *Econ.Geol.*, 81, 681-703.
- WEAVER, C.E., HIGHSMITH, P.B. & WAMPLER, J.M. (1984) Chlorite. In: Weaver, C.E. and Associates, *Shale-Slate Metamorphism in the Southern Appalachians*. Elsevier, Amsterdam, 99-139.

- SCHREYER, W. & ABRAHAM, K. (1976) Three-stage metamorphic history of a whiteschist from Sar e Sang, Afghanistan, as part of a former evaporite deposit. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 59, 111-130.
- SCHREYER, W., ABRAHAM, K., & KULKE, H. (1980) Natural sodium phlogopite coexisting with potassium phlogopite and sodian aluminian talc in a metamorphic evaporite sequence from Derrag, Tell Atlas, Algeria. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 74, 223-233.
- SCHULZ, B. TRIBOULET, C. & AUDREN, C. (1995) Microstructures and mineral chemistry in amphibolites from the western Tauern Window (Eastern Alps), and P-T deformation paths of the Alpine greenschist-amphibolite facies metamorphism. *Min. Mag.*, 59, 641-659.
- SELVERSTONE, J., SPEAR F.S., FRANZ, G. & MORTEANI, G. (1984) High-Pressure Metamorphism in the SW Tauern Window, Austria: P-T Paths from Hornblende-Kyanite-Stauroilite Schists. *J. Petrol.*, 25, 501-531.
- SHIROZU, H. (1958) X-ray powder patterns and cell dimensions of some chlorites in Japan, with a note on their interference colors. *Miner. Jour.*, v. 2, pp. 209-223.
- SHIROZU, H. (1960) Determination of the chemical composition of chlorites by the x-ray and optical methods. *Jour. Japanese Assoc. Min. Petr. & Econ. Geol.*, v. 44, pp. 18-22.
- SHIROZU, H. (1980) Cation distribution, sheet thickness, and O-OH space in trioctahedral chlorites - An X-ray and infrared study. *Miner. J. (Japan)*, 10, 14-34.
- SHIROZU, H., & BAILEY, S.W. (1965) Chlorite polytypism: III. Crystal structures of an orthohexagonal iron chlorite. *Am. Miner.*, 50, 868-885.
- SMRCKO, L. & WEISS, Z. (1993) DIFK91: a program for the modelling of powder diffraction patterns on a PC. *J. Appl. Cryst.*, 26, 140-141.
- SPEAR, F.S. (1982) Phase Equilibria of Amphibolites from the Post Pond Volcanics, Mt. Cube Quadrangle, Vermont. *J. Petrol.*, 23, 383-426.
- STEINFINK, H. (1961) Accuracy in structure analysis of layer silicates: Some further comments on the structure of prochlorite. *Acta Cryst.*, 14, 198-199.
- STEINFINK, H. (1958a) The crystal structure of chlorite. I. A monoclinic polymorph. *Acta Cryst.*, 11, 191-195.
- STEINFINK, H. (1958b) The crystal structure of chlorite. II. A triclinic polymorph. *Acta Cryst.*, 11, 195-198.
- STEWART, D.B. & FLOHR, M.K. (1984) Systematic compositional variation in layer silicates from chlorite to cordierite grade, coastal volcanic belt, Maine. *Geol.Soc.Am., Abstracts with Programs*, 16, 618.
- THEYE, T. & SEIDEL, E. & VIDAL, O. (1992) Carpholite, sudoite, and chloritoid in low-grade high-pressure metapelites from Crete and the Peloponnese, Greece. *Eur. J. Mineral.*, 4, 487-507.
- THOMPSON, J.B. JR. (1979) The Tschermak substitution and reactions in pelitic schists. In: V.A. Zharikov, V.I. Fonarev and S.P. Korikovskii (eds.), *Problems in Physicochemical Petrology. Academy of Sciences, Moscow*, 146-159.

- WEISS, Z. (1991) Interpretation of chemical composition and X-Ray diffraction patterns of chlorites. *Geologica Carpathica*, 42, 2, 93-104.
- WEISS, Z. & DUROVIC, S. (1983) Chlorite polytypism. II. Classification and X-ray identification of trioctahedral polytypes. *Acta Cryst.*, 552-557.
- WIEWIÓRA, A. & WEISS, Z. (1990) Crystallochemical classifications of phyllosilicates based on the unified system of projection of chemical composition: II. The chlorite group. Chlorites. *Clay Miner.*, 25, 83-92.
- WINCHELL, A.N. (1926) Chlorite as a polycomponent system. *Am. Journ. Sc.*, 5th series, pp. 283-300.
- WINCHELL, A.N. (1936) A third study of chlorite. *Am. Miner.*, 21, 642-651.
- ZANE, A. & WEISS, Z. (1996) Classification of chlorites using microprobe data. *In prep.*
- ZEN, E-AN (1963) Components, phases and criteria of chemical equilibrium in rocks. *Am. Journ. Sc.*, 261, 929-942.
- ZHENG, H., & BAILEY, S.W. (1989) Structures of intergrown triclinic and monoclinic IIb chlorites from Kenya. *Clays and Clay Minerals*, 37, 4, 308-316.

