

DICEMBRE 2017



**APPROFONDIMENTI MINERO-PETROGRAFICI SULLA MINERALIZZAZIONE A
FELDSPATO ALBITICO DEL DISTRETTO MINERARIO DI CUCCURU MANNU
(SARULE, NU), FINALIZZATI ALL'INTEGRAZIONE DEI DATI PREESISTENTI PER
LA DEFINIZIONE DELLA PARAGENESI DI DETTAGLIO DEL GIACIMENTO E
DELLE FACIES DI TRANSIZIONE**

Committente: Maffei Sarda Silicati S.p.A

**RESPONSABILI CNR: Dr. Marcella Palomba
Dr. Ing. Gianfranco Carcangiu**



SOMMARIO

PREMESSA	3
OBIETTIVI E REALIZZAZIONE DELLO STUDIO	3
STATO DELL'ARTE	4
1. Inquadramento geo-petrografico e petrogenetico dell'area investigata	4
1.1 Inquadramento del contesto litologico generale	4
1.2 Studi e analisi precedenti sui materiali dell'area	5
2. Studio geo-petrografico e analisi strumentale	7
2.1 Materiali e metodi	11
3. Risultati	14
3.1 Campione superficiale	14
3.2 Sondaggi	18
3.2.1 Carota CMC1	19
3.2.2 Carota CMC2	36
3.2.3 Carota CMC3	40
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	47

PREMESSA

La presente relazione, a integrazione del Contratto MAFFEI Sarda Silicati S.p.A. e l'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima dell'ottobre 2015, riferisce sui risultati dell'indagine e campionatura effettuate sull'affioramento di feldspato albitico nel Cantiere denominato "Cuccuru Mannu", per il quale è in corso di pianificazione l'attività estrattiva da parte della Società mineraria committente.

Il programma delle attività di studio è stato pianificato in collaborazione con i responsabili rappresentanti della Soc. Maffei, sulla base del sopralluogo effettuato e di dati preesistenti messi a disposizione dalla Società medesima.

OBIETTIVI E REALIZZAZIONE DELLO STUDIO

Obiettivo generale del presente studio è l'integrazione dei dati minero-petrografici inclusi nella relazione trasmessa dalla Società MAFFEI al Servizio Valutazioni Ambientali dell'Assessorato alla Difesa dell'Ambiente della RAS in data 01.06.2017, integrazioni richieste dallo stesso Servizio in data 21.03.2017.

In particolare, tra gli obiettivi specifici rientrano lo studio di dettaglio del contatto roccia mineralizzata/incassante e la verifica della presenza/assenza di eventuali minerali del *Gruppo dell'Asbesto* nella roccia mineralizzata, nella roccia granitoide incassante e nell'immediato contatto tra i due litotipi.

STATO DELL'ARTE

1. Inquadramento geo-petrografico e petrogenetico dell'area investigata

1.1 Inquadramento del contesto litologico generale

Studi precedenti* documentano che l'area del Cantiere "Cuccuru Mannu" insiste su formazioni granitoidi, localmente sormontate da lembi residui di rocce metamorfiche paleozoiche, circoscritti a poche decine di metri quadrati nelle parti sommitali del rilievo, non cartografabili a motivo della limitata estensione o perché estaerni alla carta rilevata.

Nell'area del Cantiere denominato *Cuccuru Mannu*, le coltri eluviali ricoprono la gran parte dell'area investigata e depositi colluviali recenti insistono nelle valli e ai piedi dei versanti. Un filoncello di feldspato, affiorante linearmente per pochi metri e di spessore di alcuni decimetri, è stato rilevato adiacente al contatto roccia granitoide/feldspato.

Lembi di copertura residua frammentata di micascisti paleozoici, di pochi centimetri di spessore e arealmente limitati a qualche decina di metri quadrati, giacciono sulla roccia granitoide nella parte più elevata del *Monte Cuccuru Mannu* (Fig. 1)

* Dati Maffei S.p.A.



Figura 1 – Residui di micascisti sulla parte più elevata di Monte Cuccuru Mannu

1.2 Studi e analisi precedenti sui materiali dell'area *

I sondaggi a distruzione di nucleo (Tab. 1, Fig. 2), effettuati nella precedente campagna dalla Società committente, di cui alla relazione integrativa dello SIA, trasmessa il 01.06.2017, hanno messo in evidenza lo sviluppo in verticale del giacimento e una mineralizzazione caratterizzata da variazioni laterali da granitoide, a granitoide albitizzato, a feldspato franco.

* Dati Maffei S.p.A.

foro*	CM1	CM2	CM3	CM4	CM5
quota s lm	350	286	297	304	313

0-3.70	minerale	sterile	sterile	sterile	minerale
3.70-7.40	sterile	sterile	sterile	sterile	minerale
7.40-11.10	sterile	sterile	sterile	sterile	minerale
11.10-14.80	sterile	minerale	sterile	minerale	minerale
14.80-18.50	sterile	minerale	sterile	minerale	minerale
18.50-22.20	sterile	sterile	sterile	minerale	minerale
22.20-25.90	sterile	sterile	sterile	minerale	minerale
25.90-29.60	sterile	sterile	sterile	sterile	sterile

foro*	CM6	CM7	CM8	CM9	CM10
quota s lm	325	320	294	325	331

0-3.70	sterile	minerale	sterile	sterile	minerale
3.70-7.40	sterile	minerale	sterile	sterile	minerale
7.40-11.10	sterile	minerale	sterile	sterile	minerale
11.10-14.80	minerale	minerale	sterile	sterile	minerale
14.80-18.50	minerale	minerale	sterile	sterile	minerale
18.50-22.20	sterile	minerale	sterile	minerale	minerale
22.20-25.90	sterile	minerale	sterile	minerale	minerale
25.90-29.60	sterile	sterile	sterile	sterile	sterile

Tabella 1 – Sondaggi effettuati nella precedente campagna (vedi Integrazione allo SIA per Cuccuru Mannu trasmessa da M.S.S. S.p.A. il 01.06.2017) - *Fori effettuati a rotopercussione a distruzione di nucleo con recupero delle polveri.

Durante detta campagna, verifiche atte a evidenziare la presenza/assenza di minerali appartenenti al gruppo dell'asbesto furono effettuate dalla Società Maffei S.p.A., sia sulle polveri di perforazione sia su campioni puntuali prelevati. Analisi mirate confermarono l'assenza di anfibolo nel cantiere di Cuccuru Mannu.

Studi chimico-minero-petrografici furono effettuati su campioni di roccia mineralizzata prelevati in superficie e su campioni provenienti dai sondaggi a distruzione di nucleo. Le analisi furono condotte mediante Fluorescenza X (XRF), per gli elementi maggiori e minori, diffrazione dei Raggi X (XRD) e Microscopia Ottica (MO). Gli studi petrografici evidenziarono che la roccia incassante è una granodiorite a grana media,

inequigranulare, a tessitura anisotropa. I minerali principali sono quarzo e plagioclasio (da oligoclasio ($An_{20}-An_{28}$) ad andesina ($An_{31}-An_{39}$)); minori sono K-feldspato e biotite. I minerali accessori più comuni determinabili in MO sono allanite, titanite e zirconio. La facies della *granodiorite albitizzata* è caratterizzata da tessitura simile a quella della granodiorite e include, tra i minerali principali, plagioclasti (albite e oligoclasio) e K-feldspato. Minerali accessori di neoformazione quali clorite, per alterazione della biotite, muscovite, per alterazione dei feldspati, epidoto che sostituisce il plagioclasio e/o l'allanite primari, caratterizzano la facies della roccia madre albitizzata. La roccia feldspatica è generalmente inequigranulare, non preserva la tessitura originaria ed è costituita da albite (An_0-An_{10}), in proporzioni modali intorno al 60%, e da quarzo. L'albite è idiomorfa/subidiomorfa e ha origine dal plagioclasio calcico; il K-feldspato, in genere di II generazione, è prevalentemente allotriomorfo. Il quarzo è in genere di II/III generazione e si ritrova in plaghe allotriomorfe più o meno estese. Minerali accessori sono clorite, più o meno abbondante e originatasi dalla biotite, e in minor misura, muscovite, che si forma a spese del K-feldspato, oligoclasio ed epidoto. Vuoti e microfratture della roccia sono riempiti dai minerali di neoformazione.

Le analisi mineralogiche, eseguite via XRD, e chimiche, eseguite via XRF per gli elementi maggiori e minori, confermano rispettivamente (vedi Integrazione allo SIA del Cantiere Cuccuru Mannu dello 01.06.2017), la presenza di plagioclasio dominante, quarzo, minerali del *Gruppo della Clorite* e della *mica/illite*, e un contenuto in Na che si attesta tra circa l'8 e il 10%, Fe presente in tracce e basso contenuto in Mg (da circa 0 a circa il 3%). I risultati attestarono la buona qualità della mineralizzazione ai fini degli impieghi previsti.

2. Studio geo-petrografico e analisi strumentale

Gli studi dei campioni prelevati durante la presente campagna sono stati effettuati su una roccia prelevata *in situ* e su rocce prelevate dai carotaggi eseguiti nell'area di



Cuccuru Mannu (Fig. 2). La figura 2* riporta la ricostruzione schematica del corpo mineralizzato, l'ubicazione dei campioni prelevati in affioramento e dei sondaggi effettuati nella precedente campagna (vedi Integrazione allo SIA del Cantiere Cuccuru Mannu dello 01.06.2017) e quelli che sono stati studiati nel presente lavoro.

* Dati Maffei S.p.A.

9

La maggior parte dei campioni analizzati nel presente studio proviene da sondaggi in quanto l'area mineralizzata, caratterizzata da coperture eluviale e vegetale piuttosto consistenti e diffuse (Fig. 3 e Fig. 4), non consente un agevole accertamento diretto sia di roccia madre e roccia mineralizzata, sia dei rapporti mineralizzazione/roccia incassante.



Figura 3 e 4 – Panoramica dell'area

2.1 Materiali e metodi


Il campione superficiale (5, Fig. 5) studiato, incassato nel granitoide e che affiora per pochi metri in una piccola vena di spessore di alcuni decimetri, è stato prelevato nella parte più elevata del cantiere di Cuccuru Mannu, al fine di ottenere una sua caratterizzazione minero-petrografica.



Figura 5 – Campione superficiale in giacitura filoniana, incassato nella roccia granitoide


Dai sondaggi con recupero della carote CMC1 – CMC2 – CMC3 (Tab. 2 a, b, c) sono stati selezionati, sulla base di criteri di rappresentatività, otto campioni di roccia mineralizzata e di facies di transizione feldspato/sterile, riportati nelle rispettive tabelle.

a)

Sondaggio	CMC1					Quota	m s.l.m.	355		 MAFFE SARDASILICATI
metodo	carotaggio con corona diamantata			coordinate UTM	x	506743.80 m E		fuso	32T	
Giacimento	Cuccuru Mannu				y	4452029.66 m N				
Da / a	Quota s.l.m.			DESCRIZIONE						Sezione/Campione
0	1	355	354	feldspato litoide parzialmente fratturato						CMC 1 - 1
1	2	354	353	transizione feldspato/sterile						
2	3	353	352	passaggio minerale-sterile						
3	4	352	351	feldspato						
4	5	351	350	feldspato						CMC 1 - 2
5	6	350	349	feldspato alterato						
6	7	349	348	feldspato cloritizzato						
7	8	348	347	feldspato cloritizzato						
8	9	347	346	feldspato cloritizzato						CMC 1 - 3
9	10	346	345	feldspato senza tracce di cloritizzazione						
10	11	345	344	feldspato senza tracce di cloritizzazione quarzoso						
11	12	344	343	feldspato quarzoso						
12	13	343	342	feldspato senza tracce di cloritizzazione quarzoso						CMC 1 - 4
13	14	342	341	feldspato quarzoso con residuo ferro ossidato						
14	15	341	340	feldspato quarzoso con residuo ferro ossidato						
15	16	340	339	transizione feldspato/sterile						
16	17	339	338	feldspato fratturato						CMC 1 - 5
17	18	338	337	transizione feldspato/sterile						
18	19	337	336	feldspato						
19	20	336	335	feldspato						
20	21	335	334	transizione feldspato/sterile						CMC 1 - 5
21	22	334	333	granito						
22	23	333	332	granito						
23	24	332	331	granito						
24	25	331	330	granito						
25	26	330	329	granito						

b)

Sondaggio		CMC2				Quota		m s.l.m.		342			
metodo		carotaggio con corona diamantata		coordinate UTM		x		506941.00 m E		fuso		32T	
Giacimento		Cuccuru Mannu				y		4452084.00 m N					



MAFFE SARDASILICATI

Da / a		Quota s.l.m.		DESCRIZIONE								Sezione/Campione	
0	1	342	341	suolo								CMC 2 - 1	
1	2	341	340	leucogranito									
2	3	340	339	leucogranito alterato									
3	4	339	338	leucogranito alterato									
4	5	338	337	transizione feldspato/sterile									
5	6	337	336	feldspato parzialmente argillificato									
6	7	336	335	feldspato parzialmente argillificato									

c)


Sondaggio		CMC3			Quota		m s.l.m.	341			
metodo	carotaggio con corona diamantata			coordinate UTM	x	506949.00 m E	fuso		32T		
Giacimento	Cuccuru Mannu				y	4452091.00 m N					
Da / a		Quota s.l.m.		DESCRIZIONE						Sezione/Campione	
0	1	341	340	terreno sciolto							
1	2	340	339	substrato incoerente passante a minerale quarzoso al termine							
2	3	339	338	transizione feldspato/sterile						CMC 3 - 1	
3	4	338	337	leucogranito litoide passante al termine a minerale							
4	5	337	336	feldspato							
5	6	336	335	feldspato							
6	7	335	334	minerale arenizzato ferroso							
7	8	334	333	minerale passante a leucogranito						CMC 3 - 2	
8	9	333	332	leucogranito sano							
9	10	332	331	leucogranito sano							
10	11	331	330	leucogranito sano							
11	12	330	329	leucogranito sano							
12	13	329	328	leucogranito sano							
13	14	328	327	leucogranito sano							
14	15	327	326	leucogranito sano							
15	16	326	325	leucogranito parzialmente argillificato							
16	17	325	324	leucogranito sano							
17	18	324	323	leucogranito sano							
18	19	323	322	leucogranito sano							
19	20	322	321	leucogranito sano							

Tabella 2 a, b, c – Sondaggi con recupero della carote CMC1 – CMC2 – CMC3 e campioni analizzati

La roccia incassante non è stata oggetto, nel presente lavoro, di indagini di laboratorio in quanto già ampiamente studiata durante la precedente campagna (vedi Integrazione allo SIA del Cantiere Cuccuru Mannu dello 01.06.2017).

La sezione sottile del campione 5 e quelle dei campioni di roccia provenienti dai carotaggi, sono state studiate in MO. Le polveri, ottenute previa quartatura e macinazione, sono state analizzate mediante XRD.

Le condizioni strumentali applicate sono le seguenti:

✓ Microscopia Ottica (MO): lo studio è stato effettuato su sezioni sottili lucide in luce trasmessa. Le micro-fotografie sono state acquisite mediante videocamera integrata al microscopio ottico.

✓ Diffrazione a Raggi X (XRD): gli spettri sono stati acquisiti su campioni di polveri secondo le seguenti condizioni strumentali: radiazione $\text{CuK}\alpha$, 15 kV, 30 mA, filtro Ni,

scansione $3-90^\circ 2\theta$, passo di campionatura $0.02^\circ 2\theta$, velocità di acquisizione $0.2^\circ 2\theta/\text{min}$, monocromatore in grafite. L'identificazione per l'analisi qualitativa dei minerali è stata effettuata mediante software search-match MATCH della Crystal Impact che utilizza, per il confronto, sia il JCPDS Database (Joint Committee on Powder Diffraction, 2010), sia il COD Database. Una verifica della bontà del riconoscimento, mediante search-match, delle fasi presenti è stata eseguita mediante l'applicazione del software MAUD che consente la determinazione semi-quantitativa delle fasi con il metodo Rietveld con l'introduzione nel calcolo dei parametri strutturali dei minerali contenuti nelle schede CIF del Database COD Crystallographic.

3. Risultati

I risultati delle analisi e studi effettuati sono qui di seguito riportati e descritti. Per ciascun campione analizzato si riportano, nel rispettivo paragrafo, le immagini che ne evidenziano l'aspetto macroscopico, l'analisi mineralogica effettuata via XRD, unitamente ai risultati dell'analisi semi-quantitativa, le foto al microscopio ottico e i commenti relativi agli studi petrografici

3.1 Campione superficiale

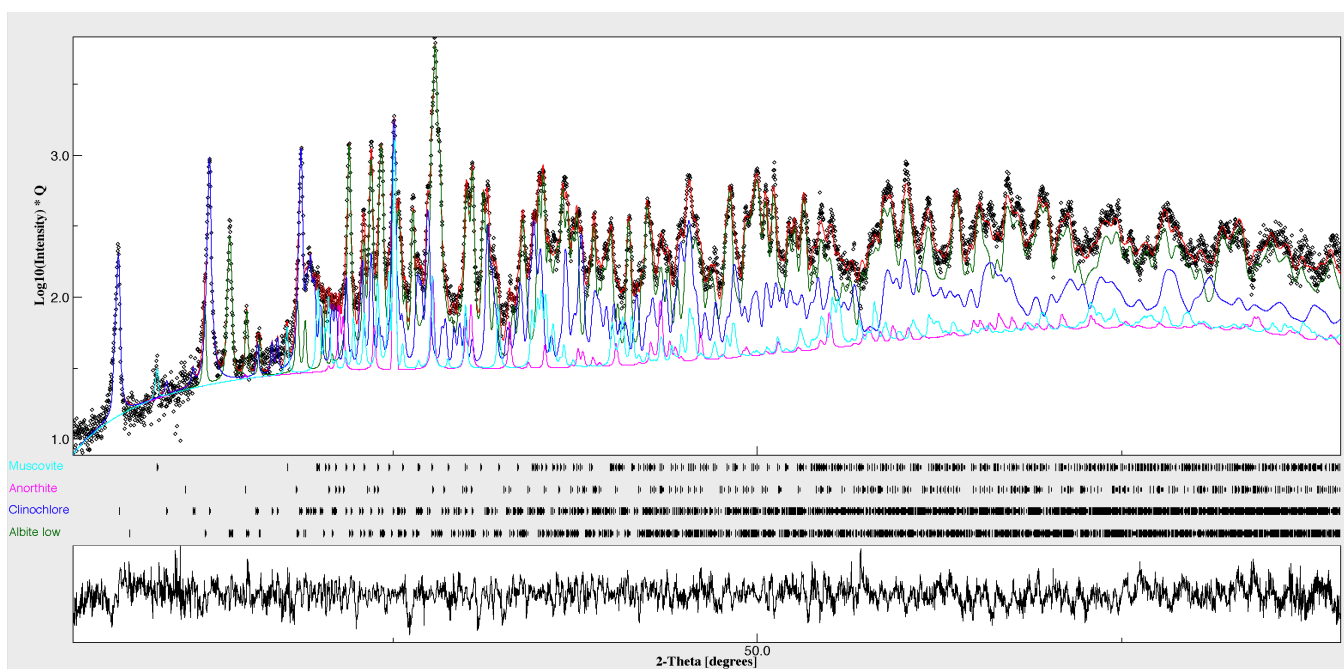
Il campione superficiale (5, Fig. 6) è incassato nella roccia granitoide, presenta una giacitura pseudo-filoniana e affiora, con uno spessore di alcuni decimetri, per pochi metri. Dall'osservazione macroscopica è evidente una tessitura pseudo-fluidale dovuta all'alternanza di straterelli, dello spessore variabile da 1 a 2 centimetri, di colore bianco e verde/grigio, generalmente più sottili (0.5-1 cm).



Figura 6 – Campione 5 di superficie, in giacitura filoniana.

3.1.1 Analisi XRD

L'analisi XRD (Fig. 6a) mostra che l'associazione mineralogica principale è data da plagioclasti (principalmente nella fase albite, per circa il 72%, e anortite, circa 1.6%) e clinocloro (circa 22%). Subordinata risulta la presenza di muscovite, in quantità di circa il 3%.



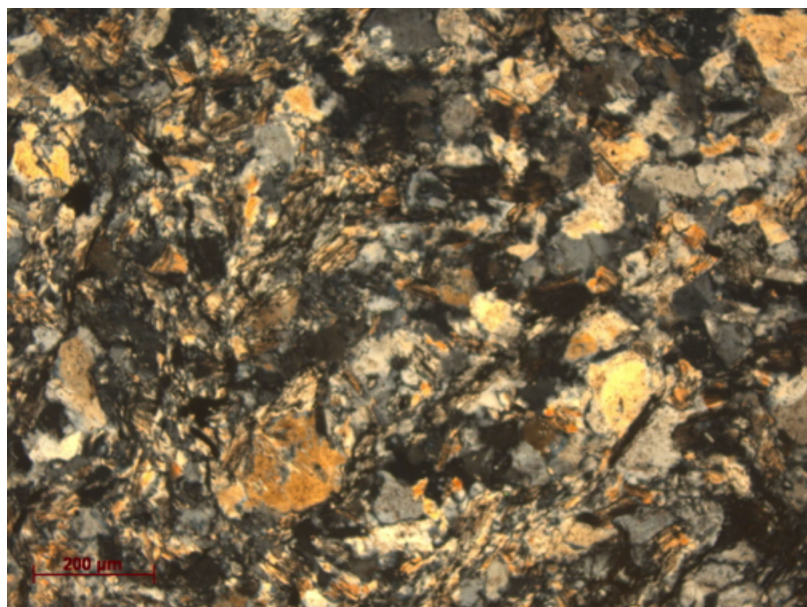
```
Wgt'd ssq = 8760.835
13, iterations - pause
sig= 1.4206198
Rwp (%) = 14.521318
Rwpnb (% , no bkg) = 17.121119
Rwpnb1 (% , no bkg rescaled) = 15.13023
Rwpnb2 (% , no bkg rescaled^2) = 13.783416
Rb (%) = 11.202111
Rexp (%) = 10.221819
# iterations = 13
Albite low , weight %: 72.61036 +- 0.0
Clinocllore , weight %: 22.427568 +- 0.2077575
Anorthite , weight %: 1.6845982 +- 0.120916925
Muscovite , weight %: 3.2774732 +- 0.118599735
```

Figura 6a – Spettro XRD del campione 5 e analisi mineralogica semi-quantitativa Rietveld

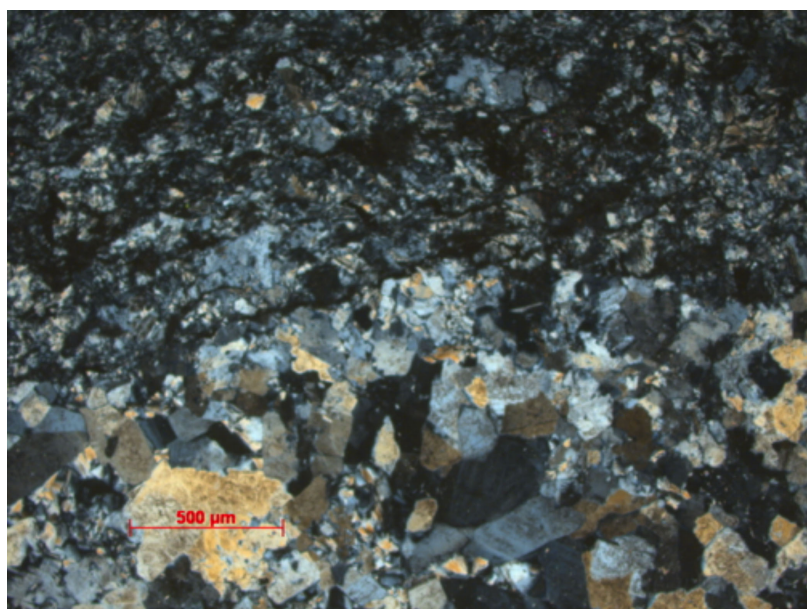
3.1.2 Petrografia

SEZIONE Camp. 5 - Gli studi al microscopio ottico evidenziano una roccia generalmente a struttura tabulare, caratterizzata da alternanza di micro-strati a cristalli più grossolani e più

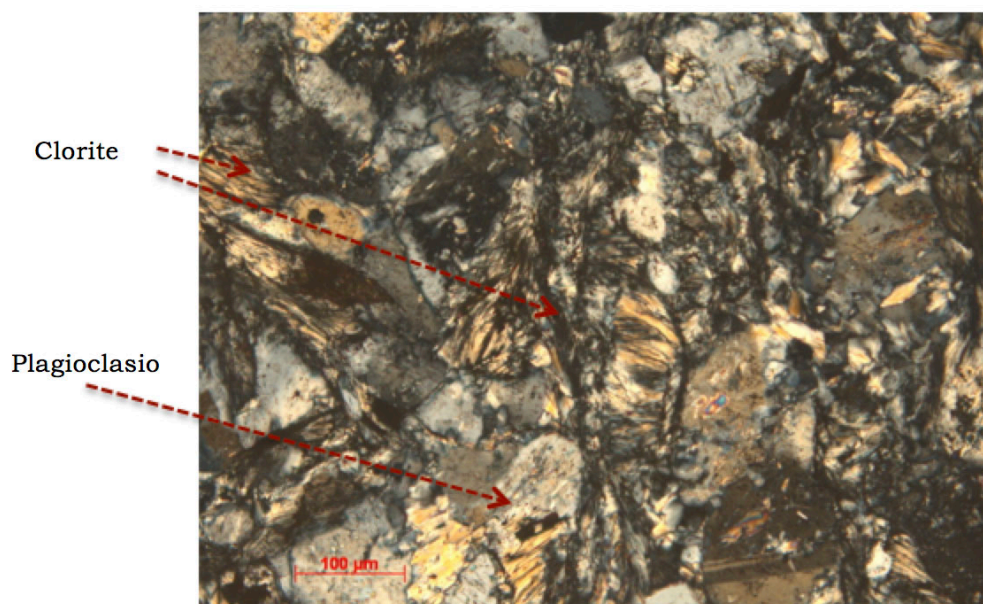
minuti. Al microscopio sono evidenti piccoli fenocristalli di plagioclasio allotriomorfo, talvolta geminati, e clorite in minor misura. Rara muscovite è osservabile specialmente al bordo dei cristalli di plagioclasio e in microfratture di riempimento. Non evidenti i minerali fibrosi.



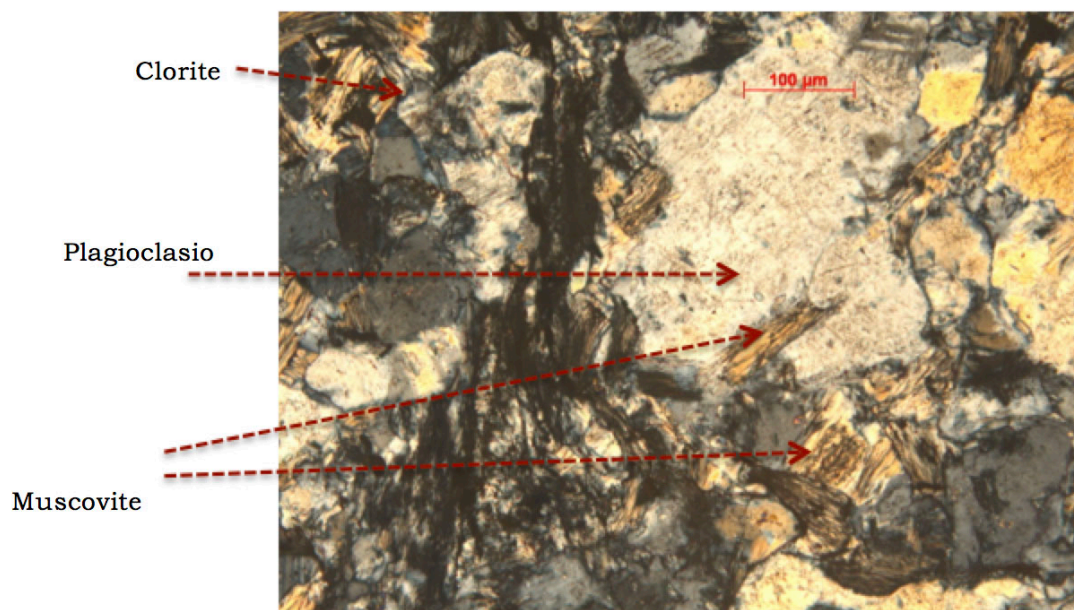
CAMP. 5 (Foto 1) – Panoramica. Caratteristica struttura della roccia. Luce polarizzata, N+



CAMP. 5 (Foto 2) – Alternanza di micro-strati, più o meno grossolani.
Fenocristalli di feldspato albitico. Luce polarizzata, N+

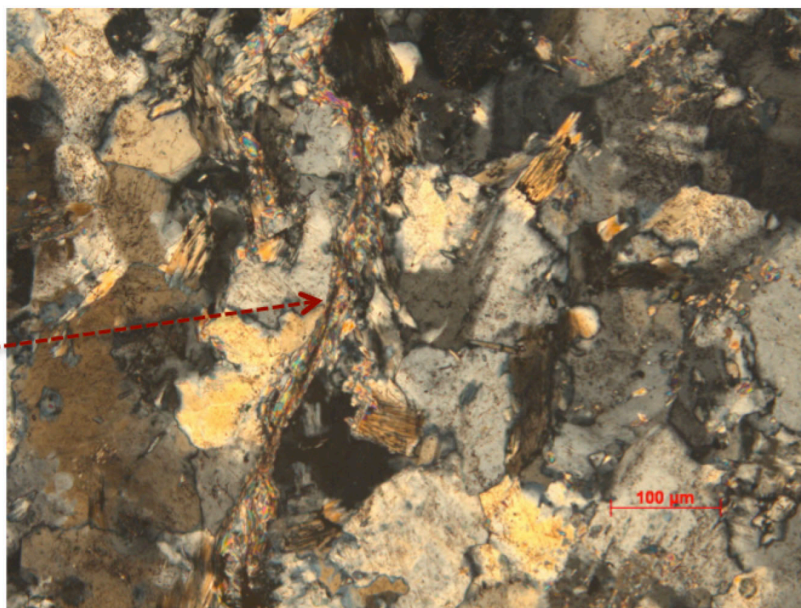


CAMP. 5 (Foto 3) – Cristalli di clinocloro e feldspato albitico geminato. Luce polarizzata, N+



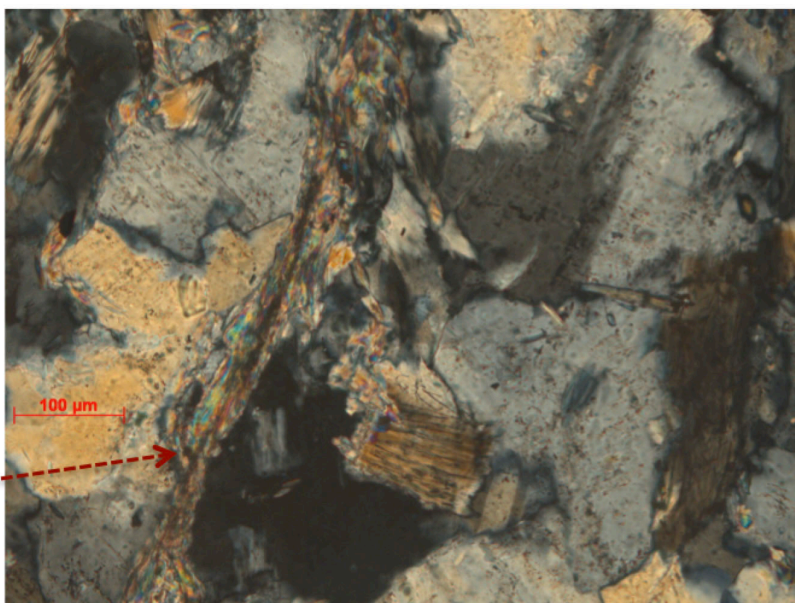
CAMP. 5 (Foto 4) – Fenocristallo di plagioclasio albitico in associazione con clinocloro e muscovite. Luce polarizzata, N+

Microfrattura con
cristalli di mica



CAMP. 5 (Foto 5) – Plagioclasio albitico e muscovite. Microfrattura di riempimento con muscovite.
Luce polarizzata, N+

Microfrattura
con cristalli di mica



CAMP. 5 (Foto 6) – Ingrandimento foto 5. Plagioclasio albitico e muscovite.
Microfrattura di riempimento con muscovite. Luce polarizzata, N+

3.2 Sondaggi

Dai tre sondaggi (CMC1, CMC2, CMC3), sono stati selezionati e studiati campioni rappresentativi al fine del conseguimento degli obiettivi preposti dal presente lavoro (Tab. 2a, b, c). In quest'ottica le analisi si sono concentrate prevalentemente sulle facies di transizione

feldspato/sterile e, in minor misura, sulla roccia mineralizzata. La roccia granitoide non è stata considerata nel presente studio in quanto già oggetto di studio di dettaglio (vedi Integrazione allo SIA del Cantiere Cuccuru Mannu dello 01.06.2017).

3.2.1 Carota CMC1

Dalla carota CMC1 sono stati studiati n. 5 campioni (Tab. 2a): tre sono rappresentativi della transizione roccia madre/feldspato, due della mineralizzazione, macroscopicamente arricchita in minerali cloritici e quarzo.

Campione CMC1-1

La facies di transizione si presenta macroscopicamente (Fig. 7) di colore bianco/grigiastro, parzialmente frammentata

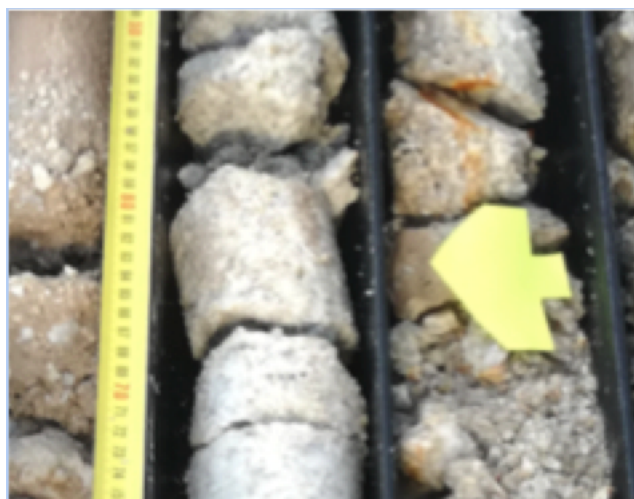
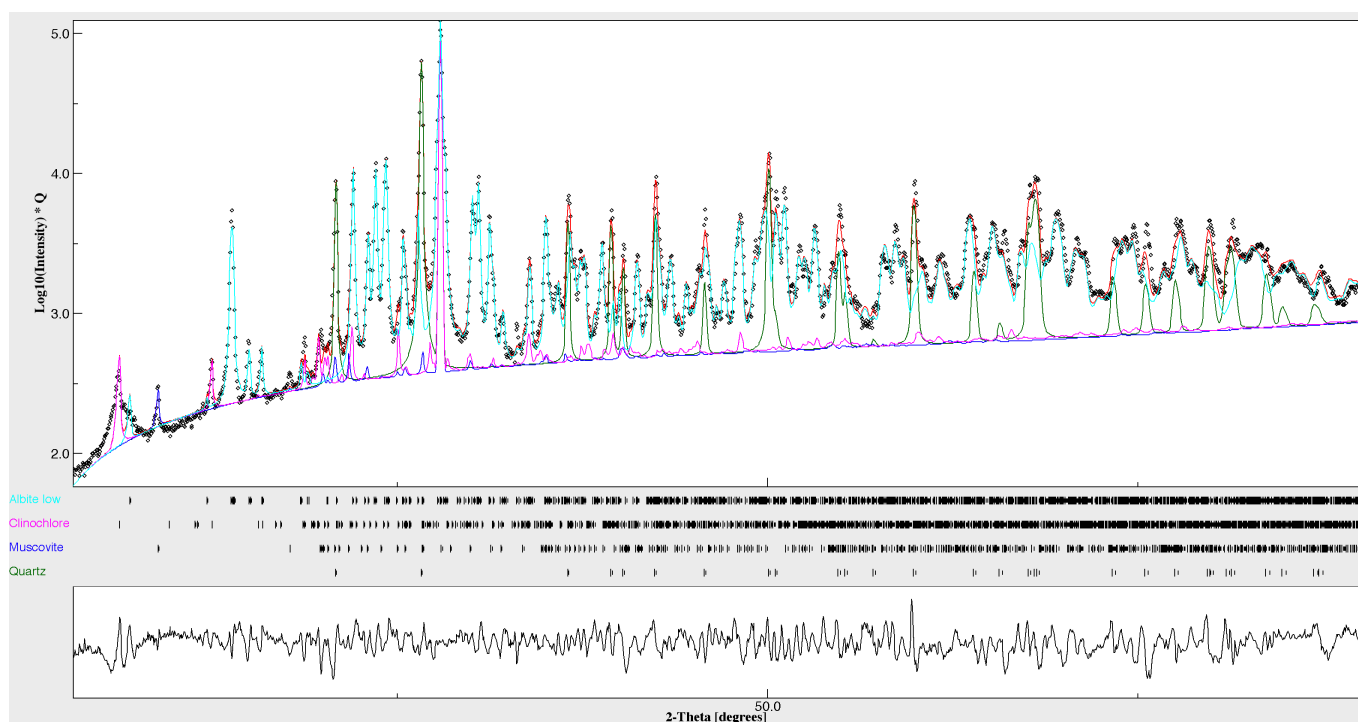


Figura 7 – Campione CMC1-1.

Analisi XRD

L'analisi XRD (Fig. 7a) mostra che l'associazione mineralogica principale è data da plagioclasio albitico, per circa il 76%, quarzo circa il 21%, clinocloro circa 1% e muscovite inferiore all'1%.

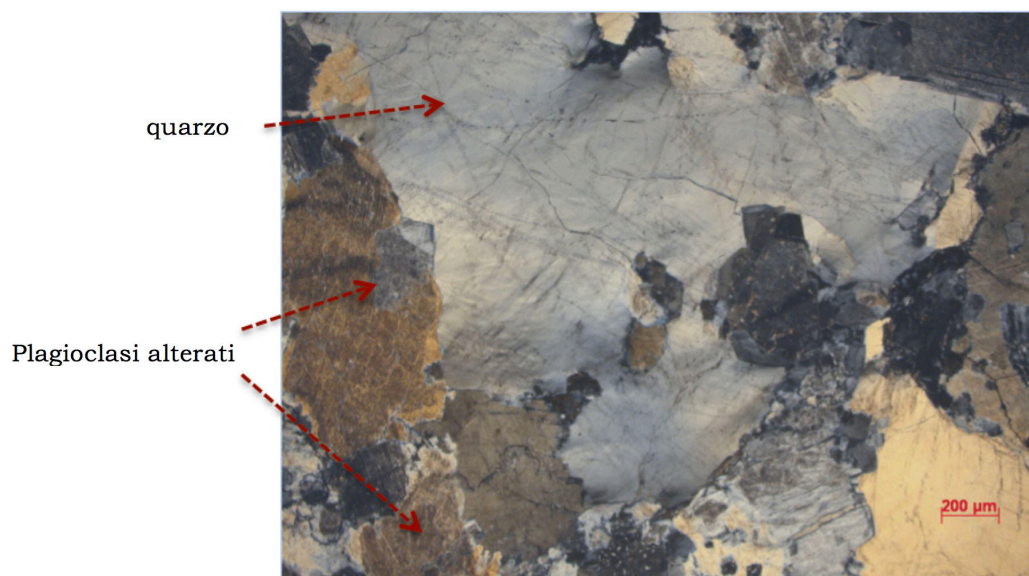


Wgt'd ssq = 35012.875
3, iterations – pause
sig= 4.49744
Rwp (%) = 15.080358
Rwpnb (% , no bkg) = 20.227987
Rwpnb1 (% , no bkg rescaled) = 17.607803
Rwpnb2 (% , no bkg rescaled^2) = 15.82297
Rb (%) = 10.900075
Rexp (%) = 3.3530982
iterations = 3
Quartz , weight %: 21.818665 +- 0.0
Muscovite , weight %: 0.3770166 +- 0.08130887
Clinocllore , weight %: 1.281652 +- 0.08191453
Albite low , weight %: 76.52267 +- 1.0763649

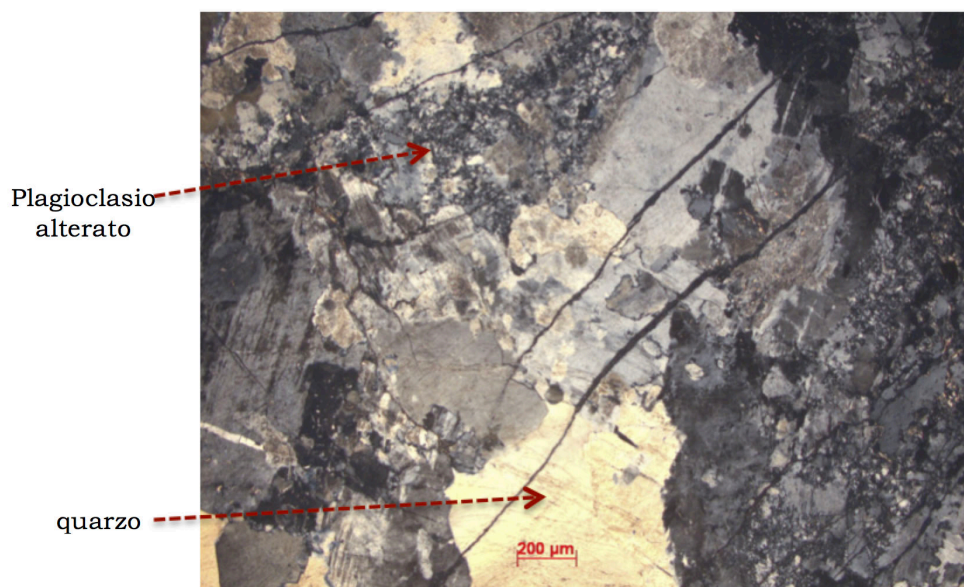
Figura 7a – Spettro XRD del campione CMC1-1 e analisi mineralogica semi-quantitativa.

Petrografia

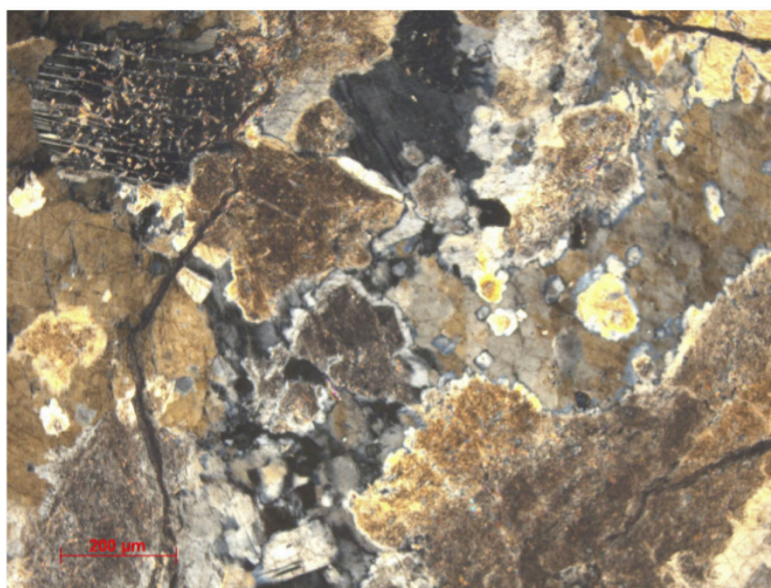
SEZIONE CMC1-1 - Gli studi al microscopio ottico evidenziano una roccia a struttura tabulare, a grossi fenocristalli di plagioclasio da idiomorfo ad allotriomorfo, spesso geminato, localmente interessato da fenomeni di alterazione (sericitizzazione). Sono presenti grosse plaghe di quarzo ad estinzione ondulata. La roccia è spesso fratturata. Non sono osservabili altri minerali. Non sono presenti minerali fibrosi.



CMC1-1 (Foto 1) – Panoramica. Fenocristallo di quarzo a contatto con plagioclasii parzialmente alterati.
Luce polarizzata, N+



CMC1-1 (Foto 2) – Panoramica. Fenocristalli di quarzo e plagioclasii più o meno alterati.
Evidenti microfratture che tagliano anche i cristalli. Luce polarizzata, N+



CMC1-1 (Foto 3) – Panoramica. Cristalli di plagioclasio più o meno alterati e geminati. Evidenti microfratture che tagliano anche i cristalli. Luce polarizzata, N+

Campione CMC1-2

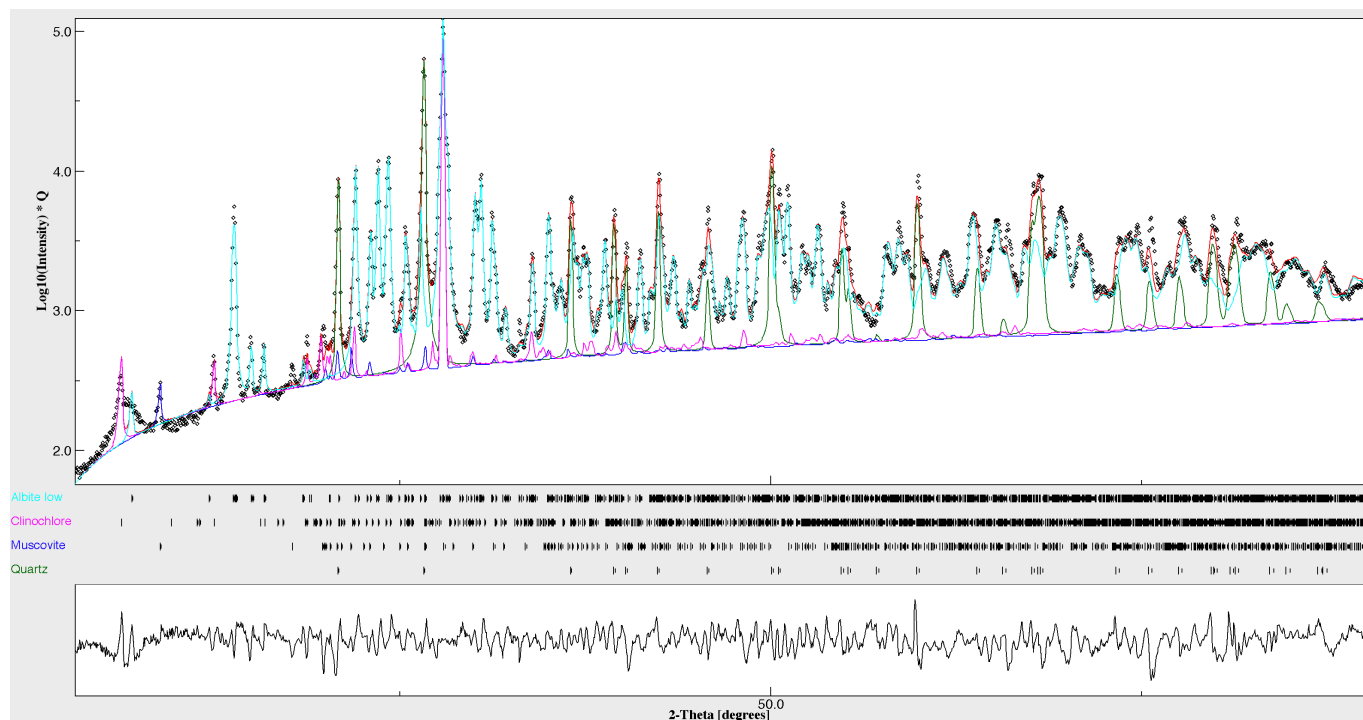
La roccia mineralizzata (Fig. 8) si presenta macroscopicamente di colore bianco e ben consolidata. E' caratterizzata dalla presenza di minerali cloritici, di colore verdastro.



Figura 8 – Campione CMC 1-2

Analisi XRD

L'analisi XRD (Fig. 8a) mostra un'associazione mineralogica data da prevalente plagioclasio albitico oltre il 76%, quarzo circa 21%, clinocloro circa l'1% e muscovite inferiore all'1%.

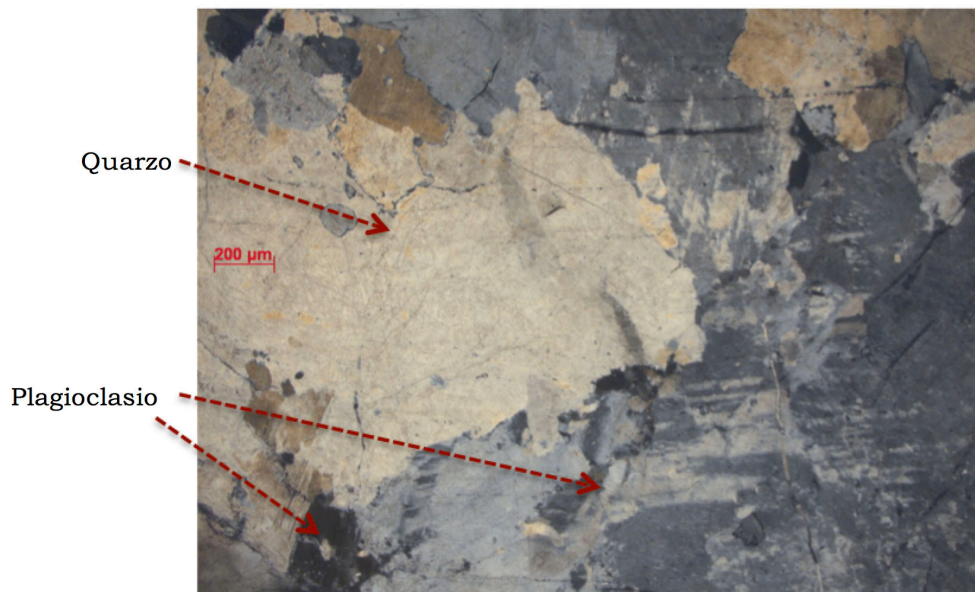


Wgt'd ssq = 34250.137
6, iterations – pause
sig= 4.4481826
Rwp (%) = 14.913532
Rwpnb (% , no bkg) = 20.060627
Rwpnb1 (% , no bkg rescaled) = 17.539827
Rwpnb2 (% , no bkg rescaled^2) = 15.818008
Rb (%) = 10.758886
Rexp (%) = 3.3527248
iterations = 6
Quartz , weight %: 21.73012 +- 0.0
Muscovite , weight %: 0.42799804 +- 0.082038134
Clinocllore , weight %: 1.1724117 +- 0.07940944
Albite low , weight %: 76.66947 +- 1.0832418

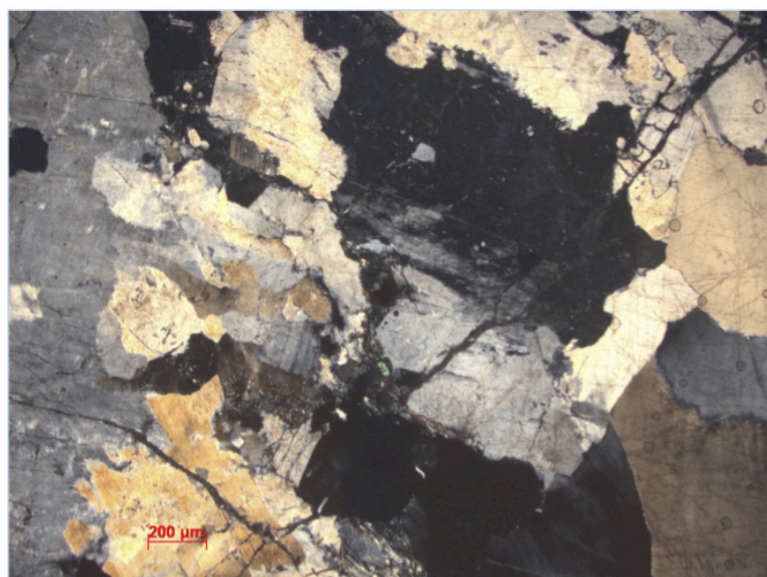
Figura 8a – Spettro XRD del campione CMC 1-2 e analisi mineralogica semi-quantitativa.

Petrografia

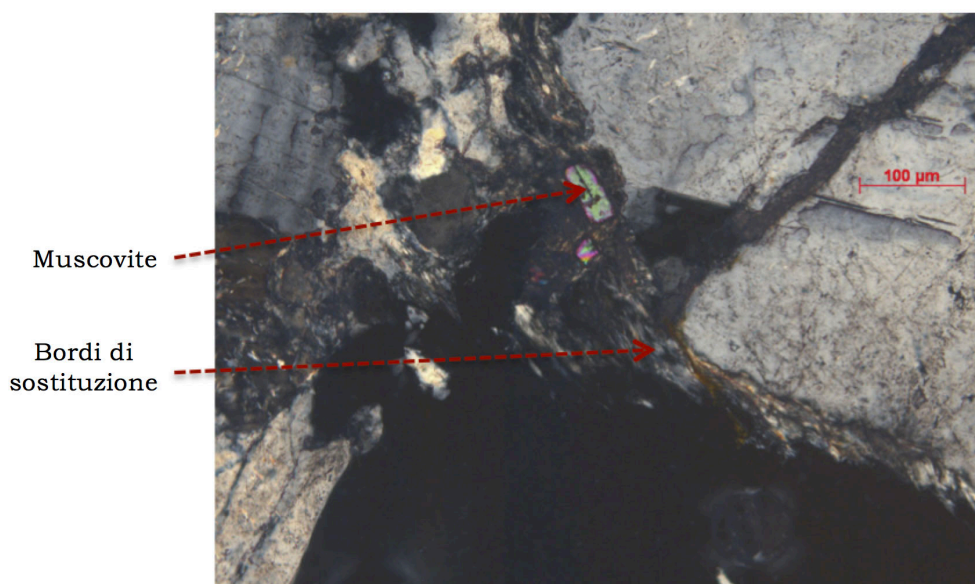
SEZIONE CMC1-2 – Roccia feldspatica. Evidenti bordi di sostituzione al contatto con i plagioclasti, da parte di mica muscovitica. Rari cristalli di muscovite sparsi nella sezione. Rari cristalli di clorite presenti tra i fenocristalli di plagioclasio. Nessuna evidenza di minerali fibrosi.



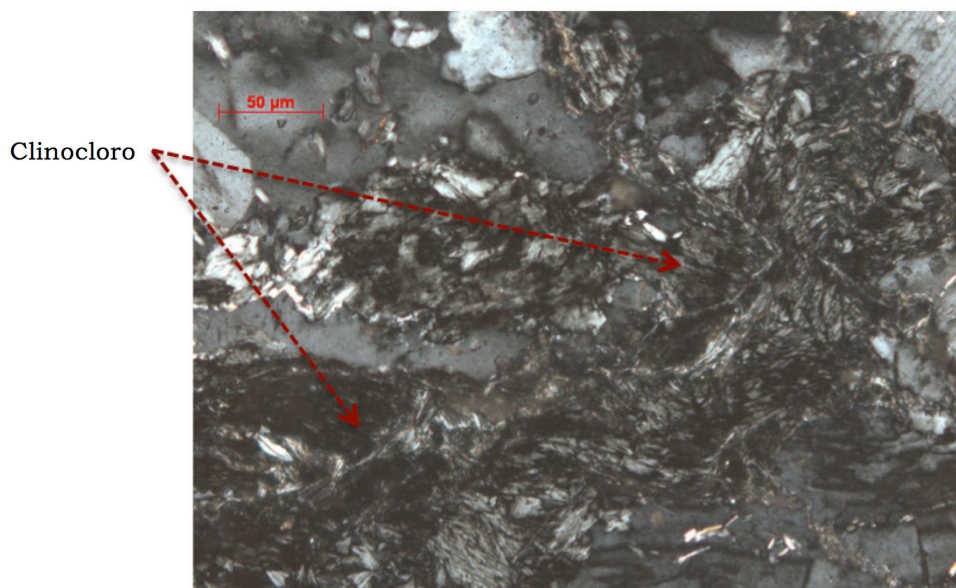
CMC1-2 (Foto 1) – Panoramica. Fenocristalli di plagioclasio da idiomorfi ad allotriomorfi. Quarzo a estinzione ondulata. Luce polarizzata, N+



CMC1-2 (Foto 2) – Panoramica. Fenocristalli di plagioclasio e quarzo. Luce polarizzata, N+



CMC1-2 (Foto 3) – Bordi di sostituzione al contorno di fenocristalli di plagioclasio, con neoformazione di muscovite.
Luce polarizzata, N+



CMC1-2 (Foto 4) – Clorite al contorno di cristalli di plagioclasio. Luce polarizzata, N+

Campione CMC1-3

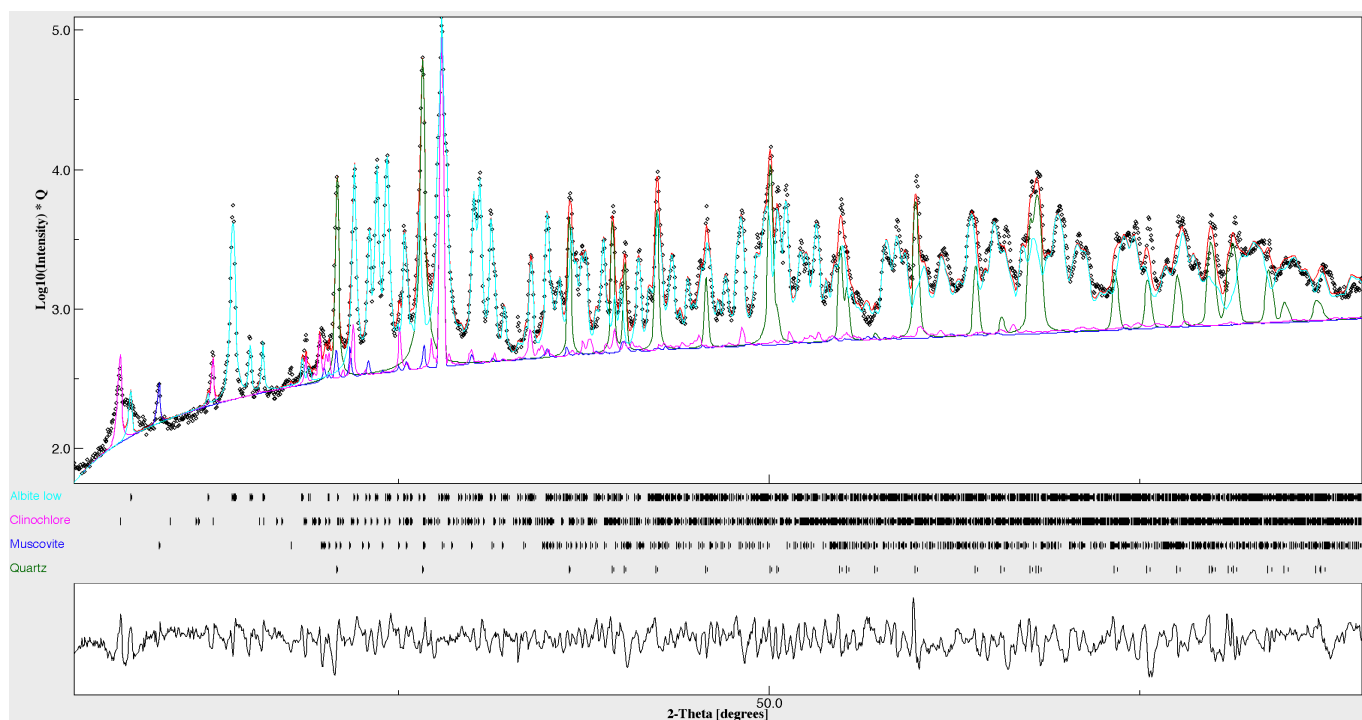
La roccia mineralizzata (Fig. 9) si presenta macroscopicamente di colore bianco e ben consolidata. E' caratterizzata dalla presenza di abbondante quarzo.



Figura 9 – Campione CMC 1-3

Analisi XRD

L'analisi XRD (Fig. 9a) mostra un'associazione mineralogica che include plagioclasio albitico per circa il 76%, quarzo circa il 21%, clinocloro circa l'1% e muscovite inferiore all'1%.

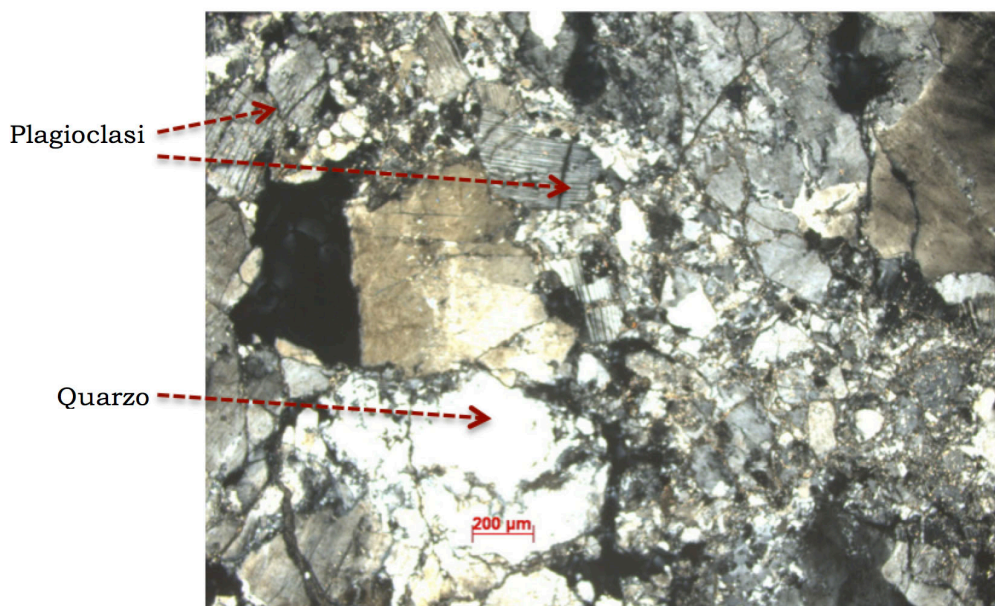


Wgt'd ssq = 35205.93
3, iterations - pause
sig= 4.5098214
Rwp (%) = 15.08159
Rwpnb (% , no bkg) = 20.28143
Rwpnb1 (% , no bkg rescaled) = 17.733255
Rwpnb2 (% , no bkg rescaled^2) = 15.975662
Rb (%) = 10.949137
Rexp (%) = 3.3441653
iterations = 3
Quartz , weight %: 21.756683 +- 0.0
Muscovite , weight %: 0.411277 +- 0.08149509
Clinocllore , weight %: 1.2026081 +- 0.0800798
Albite low , weight %: 76.62943 +- 1.0800925

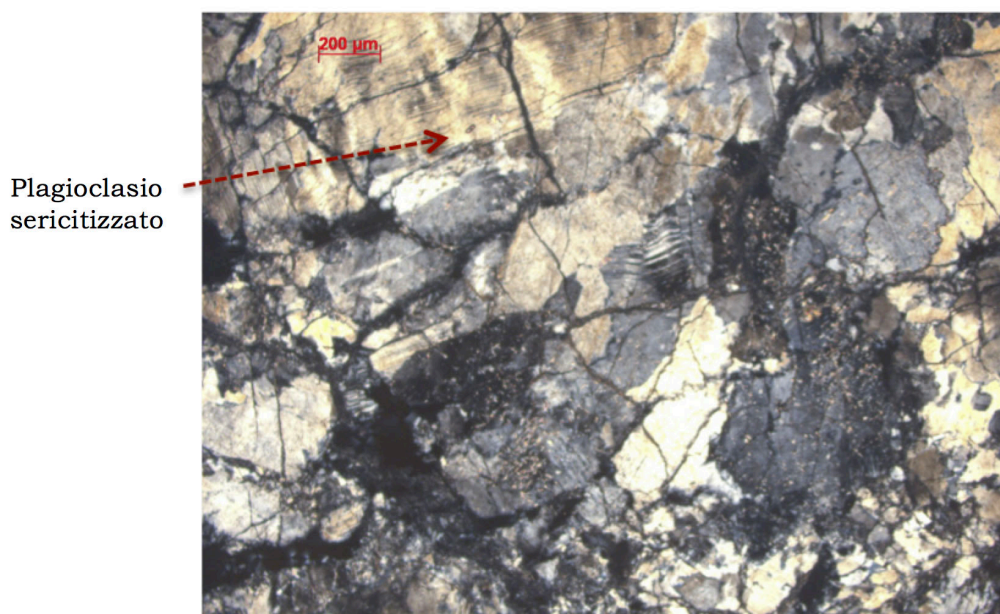
Figura 9a – Spettro XRD del campione CMC1-3 e analisi mineralogica semi-quantitativa.

Petrografia

SEZIONE CMC1-3 – Roccia feldspatica attraversata da microfratture. Struttura tabulare con grossi fenocristalli di plagioclasio, più o meno geminati e sericitizzati, e quarzo allotriomorfo in plaghe. Nessuna evidenza di minerali fibrosi.



CMC1-3 (Foto 1) – Panoramica. Fenocristalli di plagioclasio geminato e quarzo in plaghe.
Luce polarizzata, N+



CMC1-3 (Foto 2) – Panoramica. Fenocristalli di plagioclasio e più o meno sericitizzato.
Luce polarizzata, N+



CMC1-3 (Foto 3) – Fenocristalli di plagioclasio geminato, più o meno sericitizzato.
Luce polarizzata, N+

Campione CMC 1-4

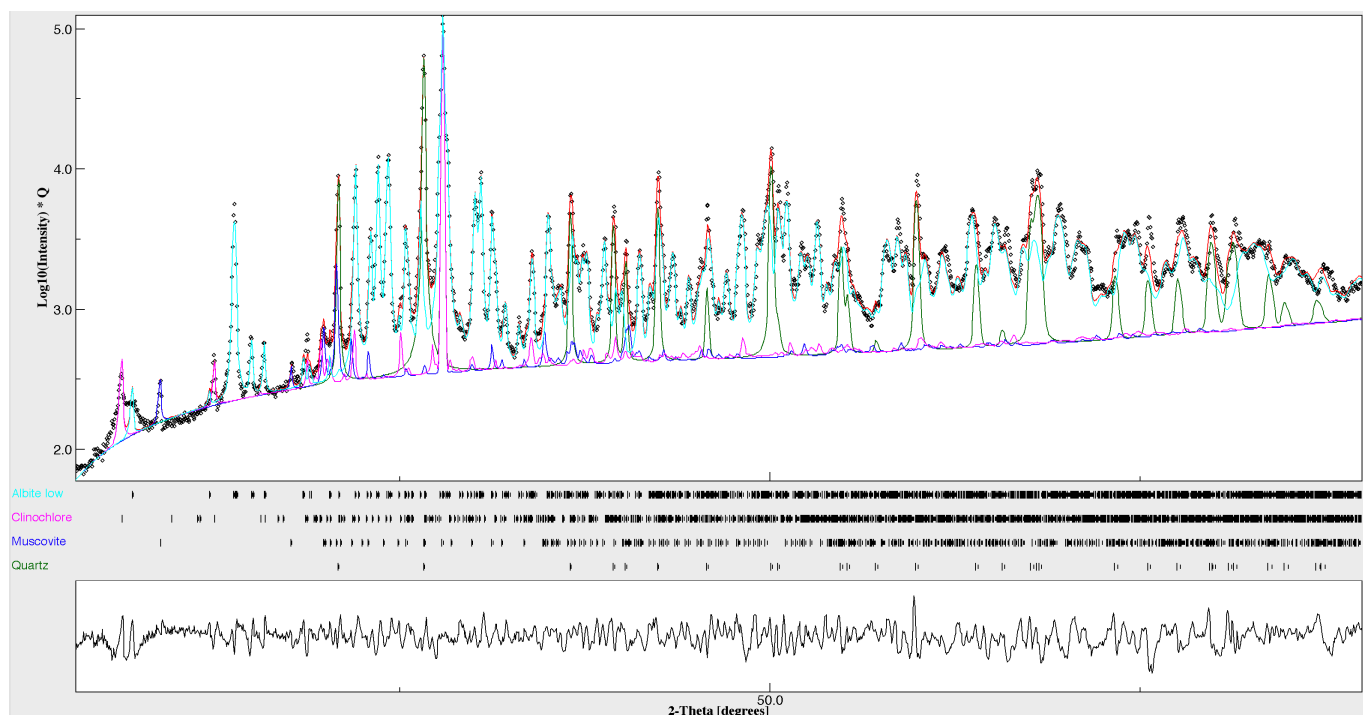
La facies di transizione si presenta macroscopicamente (Fig.10) di colore bianco/rosato, coerente e ben consolidata.



Figura 10 – Campione CMC 1-4

Analisi XRD

L'analisi XRD (Fig. 9a) mostra un'associazione mineralogica che include plagioclasio albitico per circa il 76%, quarzo circa il 21%, clinocloro circa l'1% e muscovite inferiore all'1%.



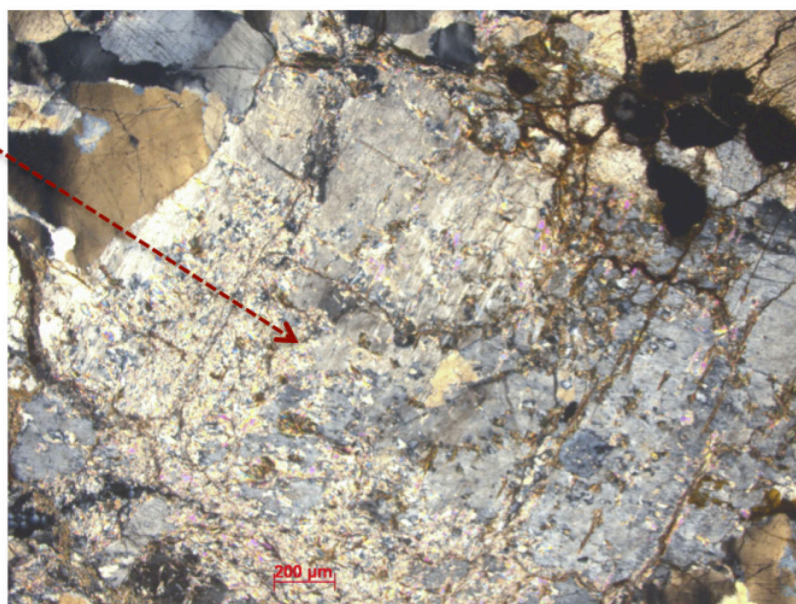
Wgt'd ssq = 31401.672
4, iterations - pause
sig= 4.259198
Rwp (%) = 14.23613
Rwpnb (% , no bkg) = 18.677187
Rwpnb1 (% , no bkg rescaled) = 16.57589
Rwpnb2 (% , no bkg rescaled^2) = 15.092612
Rb (%) = 10.476733
Rexp (%) = 3.3424437
iterations = 4
Quartz , weight %: 21.544535 +- 0.0
Muscovite , weight %: 0.6953086 +- 0.054221813
Clinocllore , weight %: 1.0666909 +- 0.0751427
Albite low , weight %: 76.69347 +- 1.0378933

Figura 10a – Spettro XRD del campione CMC 1-4 e analisi mineralogica semi-quantitativa.

Petrografia

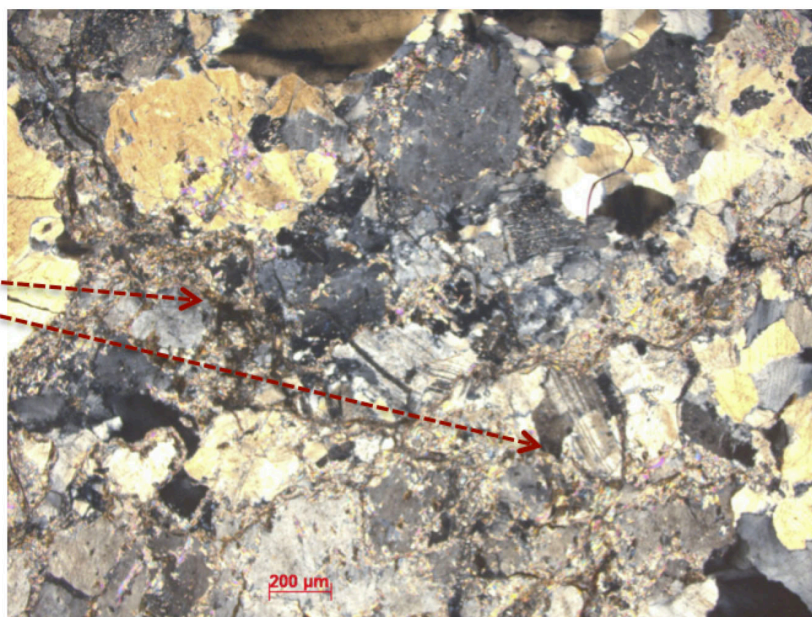
SEZIONE CMC1-4 – Transizione roccia madre/feldspato. Roccia a struttura tabulare, a grossi fenocristalli di plagioclasti, quarzo e raro K-feldspato, totalmente o parzialmente alterato. Plaghe di minerali micacei, al contatto tra fenocristalli, dovute a neoformazione successiva a fenomeni di ricircolazione. La roccia è localmente rossastra per fenomeni di ossidazione. Non evidenti minerali fibrosi.

K-feldspato
sericitizzato



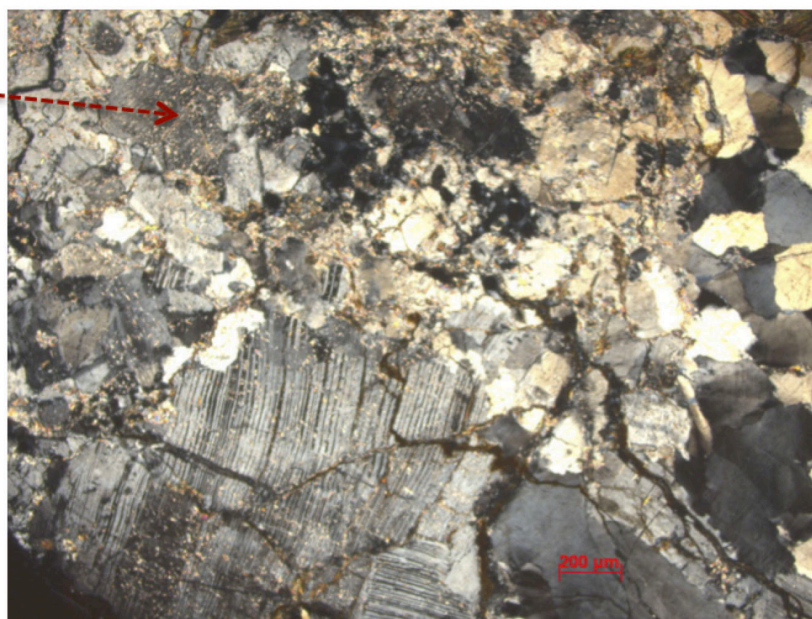
CMC1-4 (Foto 1) – Panoramica. Fenocristallo di K-feldspato parzialmente alterato in sericite, con quarzo al bordo NW. Luce polarizzata, N+

Plagioclasio
sericitizzato

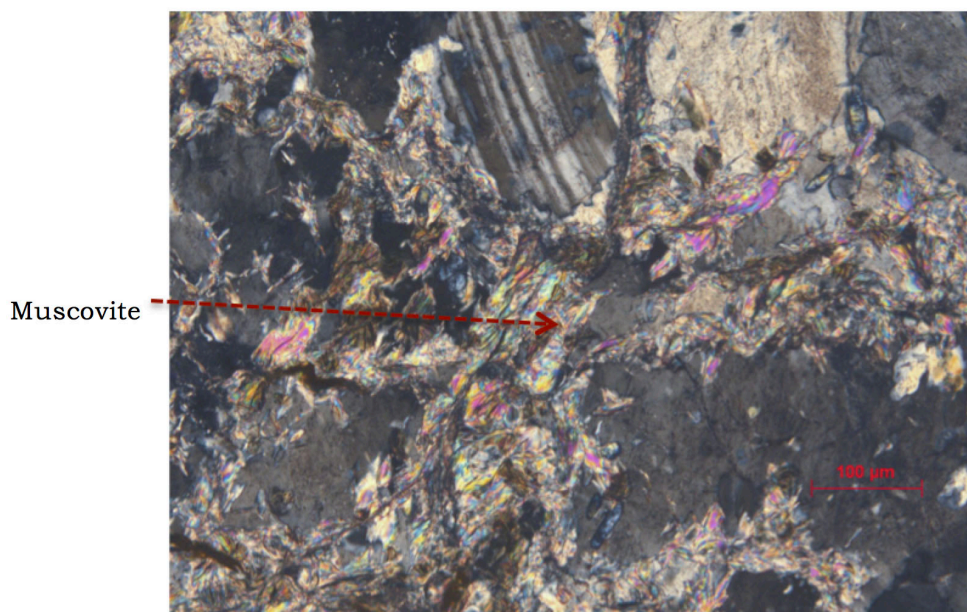


CMC1-4 (Foto 2) – Panoramica. Plagioclasii geminati e parzialmente alterati in sericite, inframmezzati da cristalli di quarzo. Luce polarizzata, N+

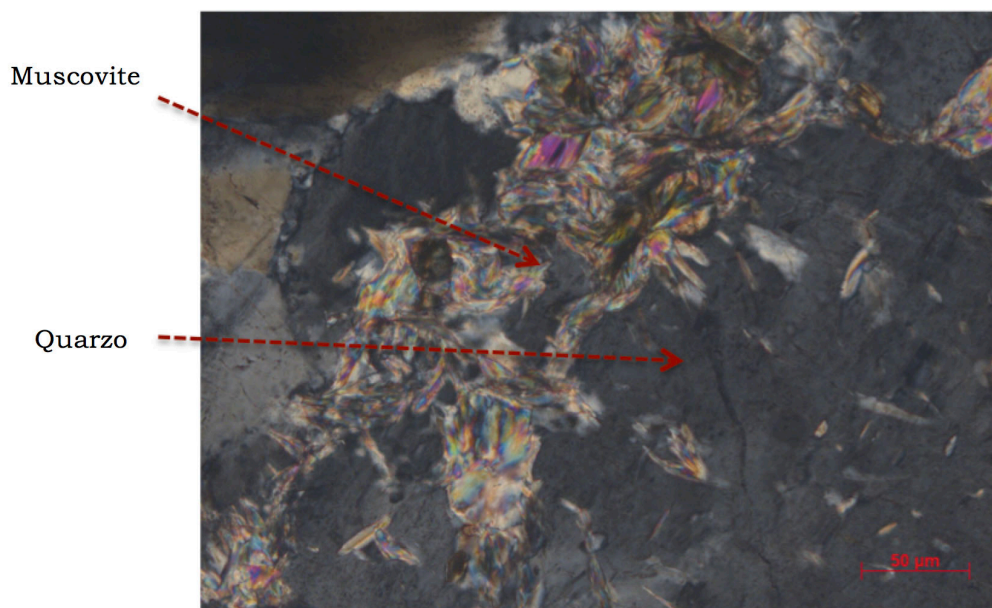
Plagioclasio
sericitizzato



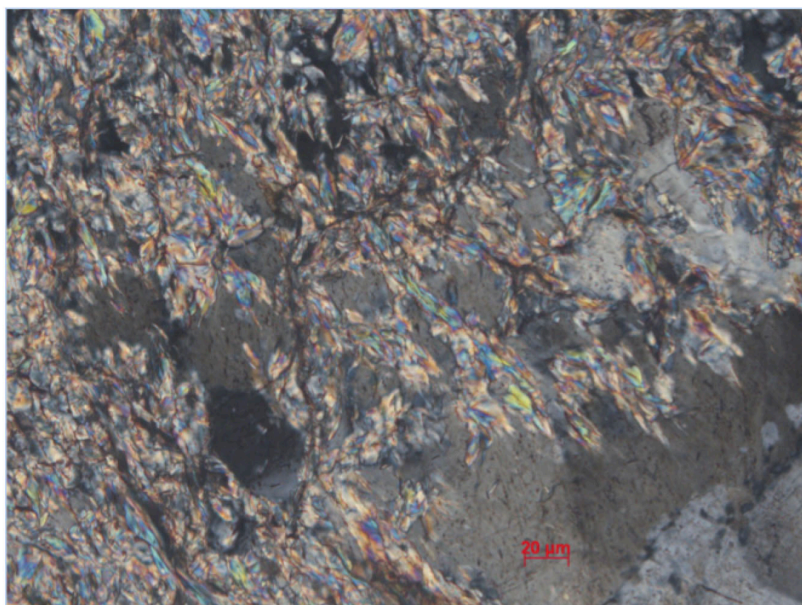
CMC1-4 (Foto 3) – Panoramica. Idem foto 2, altra zona. Luce polarizzata, N+



CMC1-4 (Foto 4) – Evidenti fenomeni di ricircolazione che provocano parziale corrosione e trasformazione del bordo dei cristalli di plagioclasio, con neoformazione di muscovite. Luce polarizzata, N+



CMC1-4 (Foto 5) – Idem come foto 4, con neoformazione di muscovite intorno a cristallo di quarzo. Luce polarizzata, N+



CMC1-4 (Foto 6) – Idem come foto 4, con neoformazione di muscovite in cristallo di K-feldspato.
Luce polarizzata, N

Campione CMC 1-5

La facies di transizione si presenta macroscopicamente (Fig. 11) di colore bianco/rosato, coerente e ben consolidata.

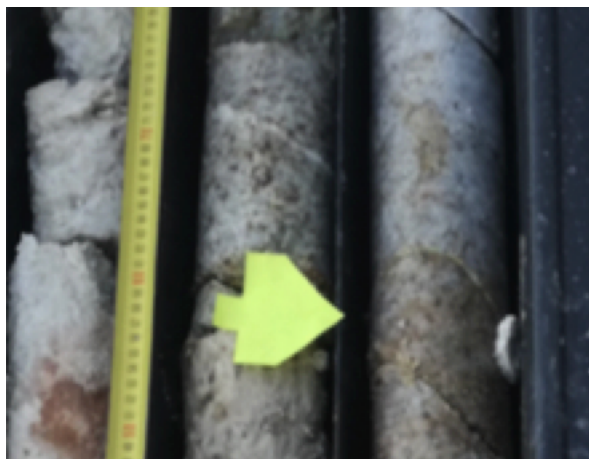
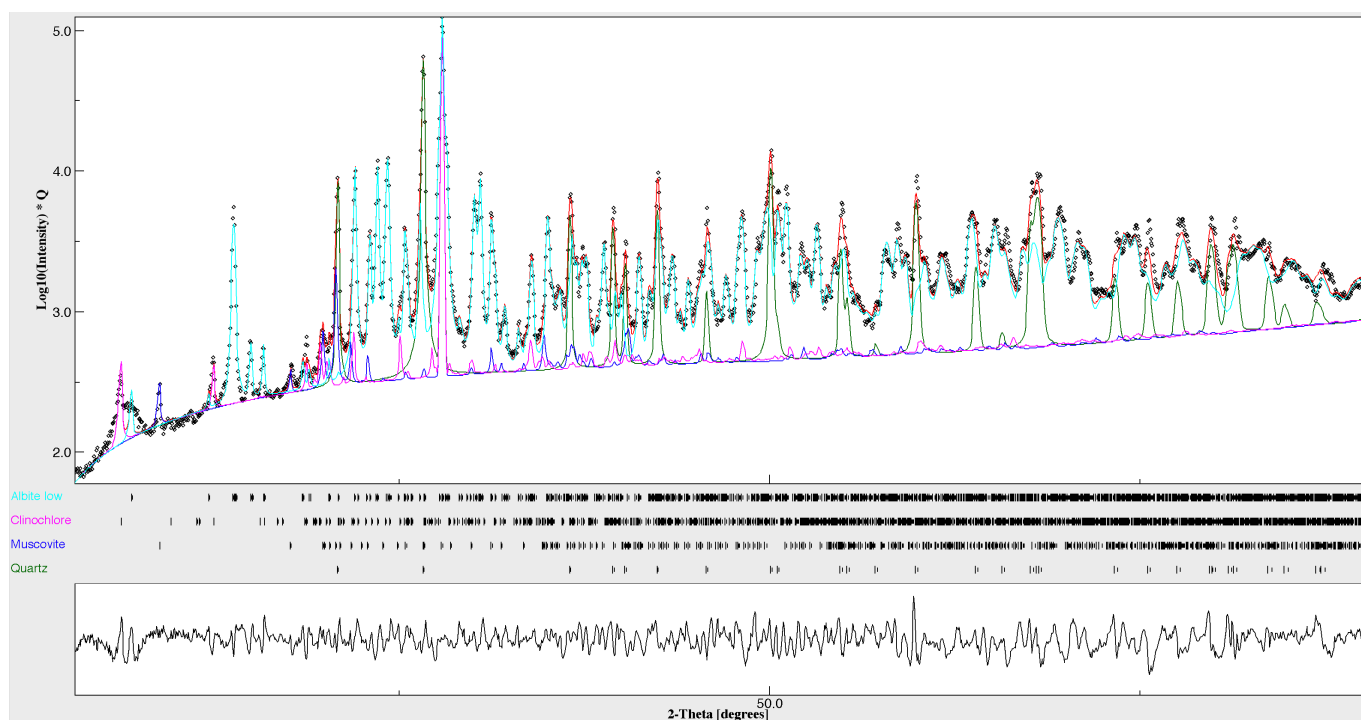


Figura 11 – Campione CMC 1-5

Analisi XRD

L'analisi XRD (Fig. 9a) mostra un'associazione mineralogica che include plagioclasio albitico per circa il 76%, quarzo circa il 21%, clinocloro circa l'1% e muscovite inferiore all'1%.

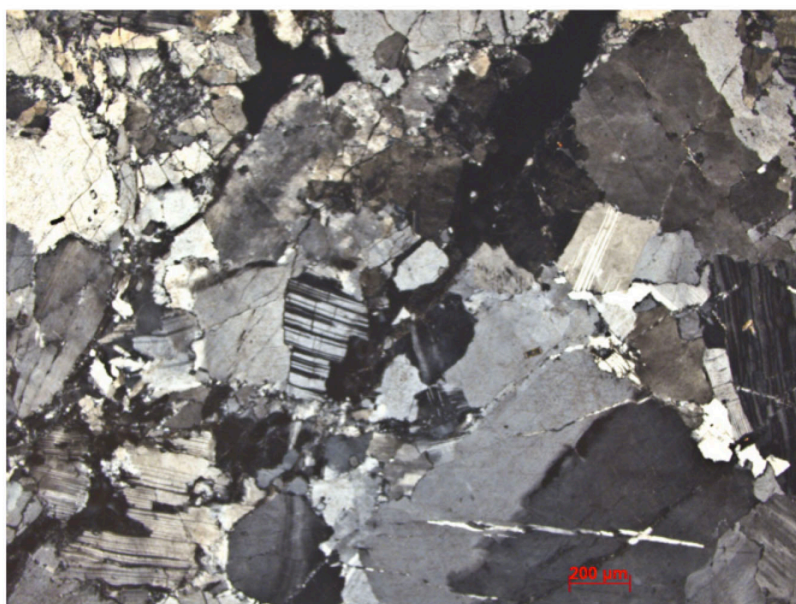


Wgt'd ssq = 31724.033
6, iterations – pause
sig= 4.2810044
Rwp (%) = 14.310623
Rwpnb (% , no bkg) = 18.758366
Rwpnb1 (% , no bkg rescaled) = 16.655111
Rwpnb2 (% , no bkg rescaled^2) = 15.162903
Rb (%) = 10.466313
Rexp (%) = 3.342819
iterations = 6
Quartz , weight %: 21.585777 +- 0.0
Muscovite , weight %: 0.69838476 +- 0.053714816
Clinocllore , weight %: 1.0685275 +- 0.07434473
Albite low , weight %: 76.64731 +- 1.030591

Figura 11a – Spettro XRD del campione CMC1-5 e analisi mineralogica semi-quantitativa.

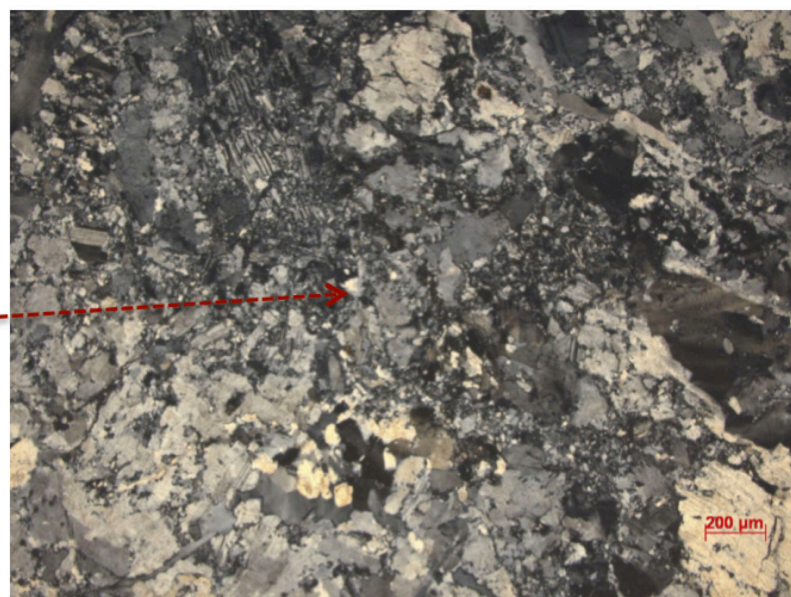
Petrografia

SEZIONE CMC1-5 – Transizione roccia madre/feldspato. Roccia a struttura tabulare, con scarsi fenomeni di alterazione. Grossi fenocristalli di quarzo allotriomorfo e più piccoli plagioclasti, talvolta geminati. Piccole e limitate plaghe di sericite che si forma per alterazione dei plagioclasti. Non evidenti minerali fibrosi.



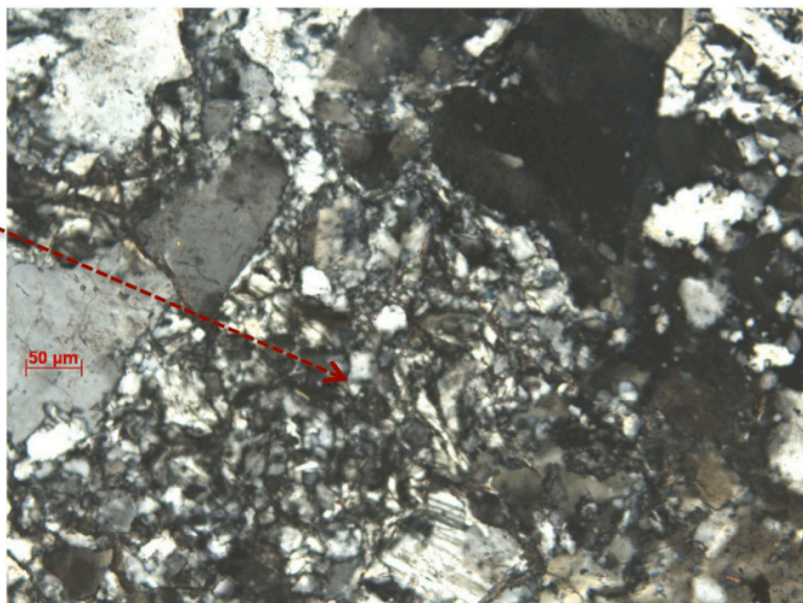
CMC1-5 (Foto 1) – Panoramica. Struttura tabulare. Evidenti fenocristalli di plagioclasio geminato e quarzo allotriomorfo. Luce polarizzata, N+

Plagioclasio
sericitizzato

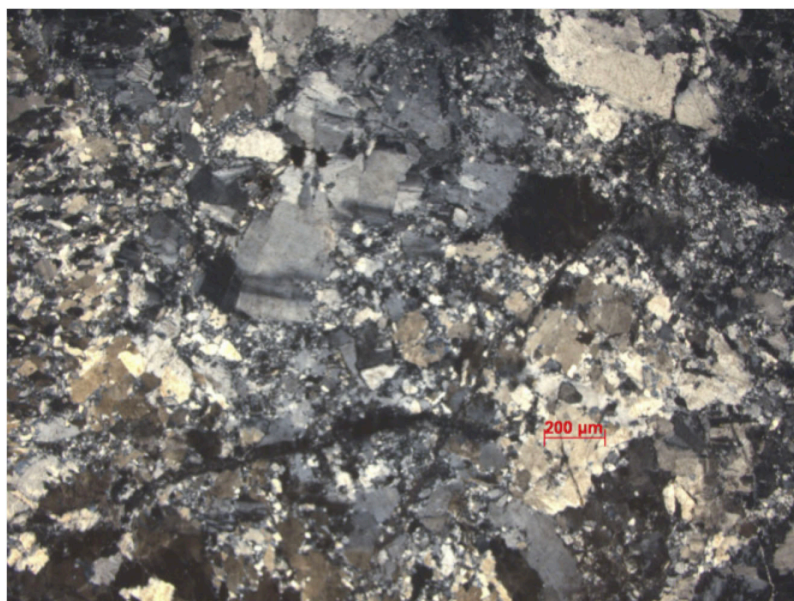


CMC1-5 (Foto 2) – Panoramica. Plagioclasii parzialmente sericitizzati. Luce polarizzata, N+

Plagioclasio
sericitizzato



CMC1-5 (Foto 3) – Particolare foto 2. Plagioclasio sericitizzato. Venette di ricircolazione al bordo dei cristalli.
Luce polarizzata, N+



CMC1-5 (Foto 4) – Panoramica. Roccia parzialmente alterata. Luce polarizzata, N+

3.2.2 Carota CMC2

Della carota CMC2 è stato studiato n. 1 campione (Tab. 2b), rappresentativo della transizione roccia madre/feldspato.

Campione CMC2-1

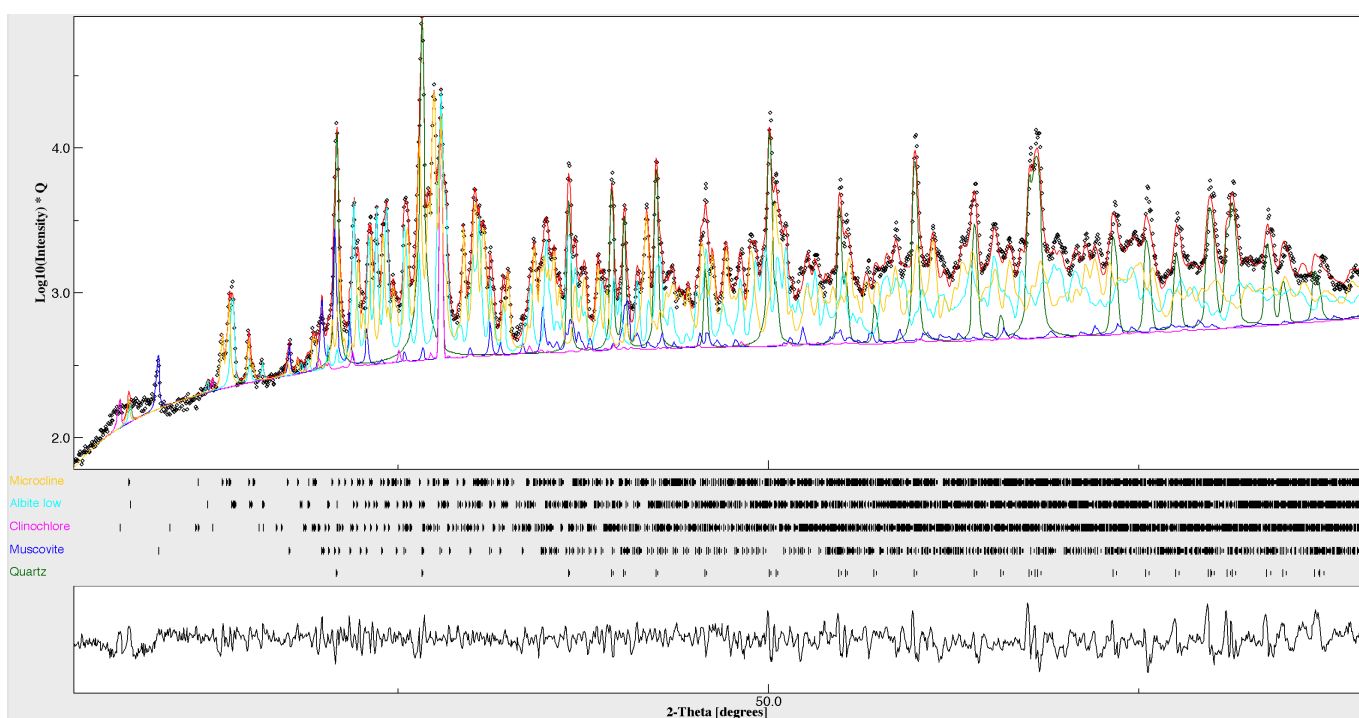
Macroscopicamente la roccia (Fig. 12) si presenta di colore biancastro, incoerente, con fenocristalli di quarzo.



Figura 12 – Campione CMC 2-1

Analisi XRD

L'analisi XRD (Fig. 9a) mostra un'associazione mineralogica che include prevalenti microclino e quarzo (37% e 32%), plagioclasio albitico per circa il 29%, muscovite circa l'1% e clinocloro inferiore all'1%.



Wgt'd ssq = 29922.01
2, iterations – pause
sig= 4.1576395
Rwp (%) = 15.236638
Rwpnb (% , no bkg) = 18.819439
Rwpnb1 (% , no bkg rescaled) = 17.197868
Rwpnb2 (% , no bkg rescaled^2) = 16.095827
Rb (%) = 11.403026
Rexp (%) = 3.6647327
iterations = 2
Quartz , weight %: 32.215073 +- 0.0
Muscovite , weight %: 1.1126454 +- 0.066790506
Clinocllore , weight %: 0.25017813 +- 0.06350436
Albite low , weight %: 28.997448 +- 0.57768095
Microcline , weight %: 37.424656 +- 0.58640456

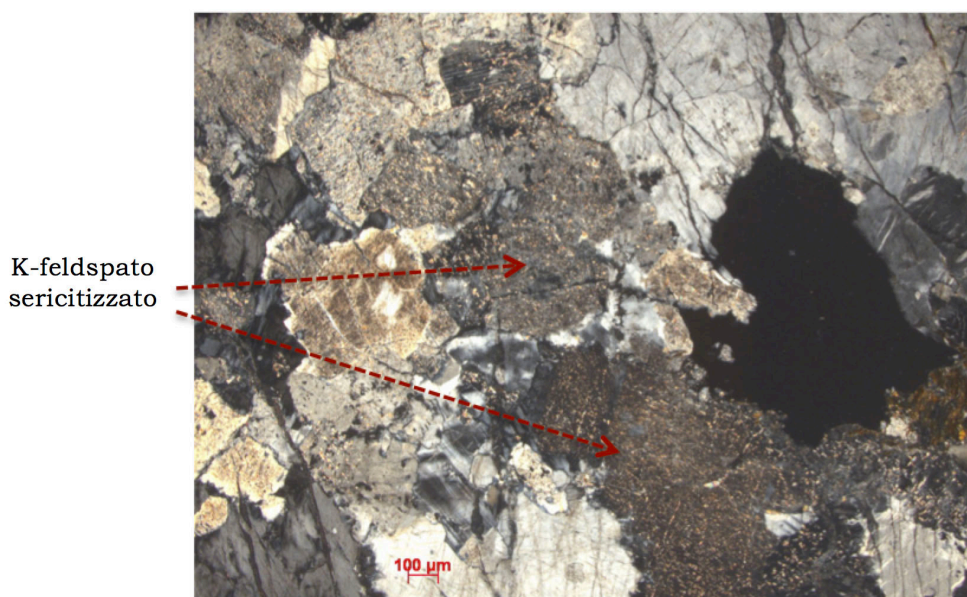
Figura 12a – Spettro XRD del campione CMC2-1 e analisi mineralogica semi-quantitativa.

Petrografia

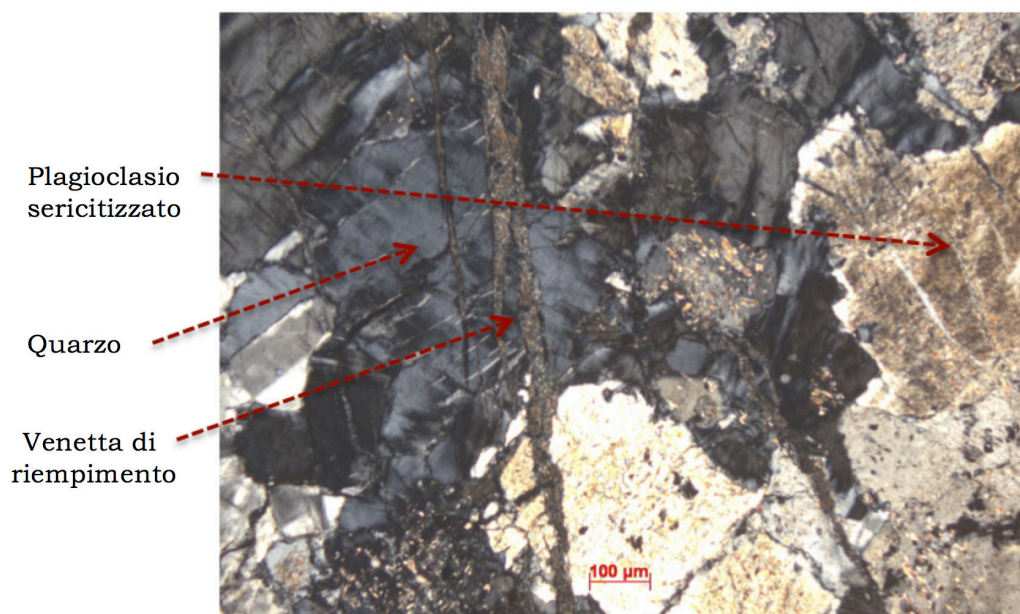
SEZIONE CMC2-1 – Transizione roccia madre/feldspato. Roccia a struttura tabulare e grossi fenocristalli di quarzo allotriomorfo, più piccoli plagioclasii, talvolta geminati e sericitizzati, K-feldspato alterato. Evidenti cristalli di muscovite subordinata. Presenza di vene di ricircolazione. Non evidenti minerali fibrosi.



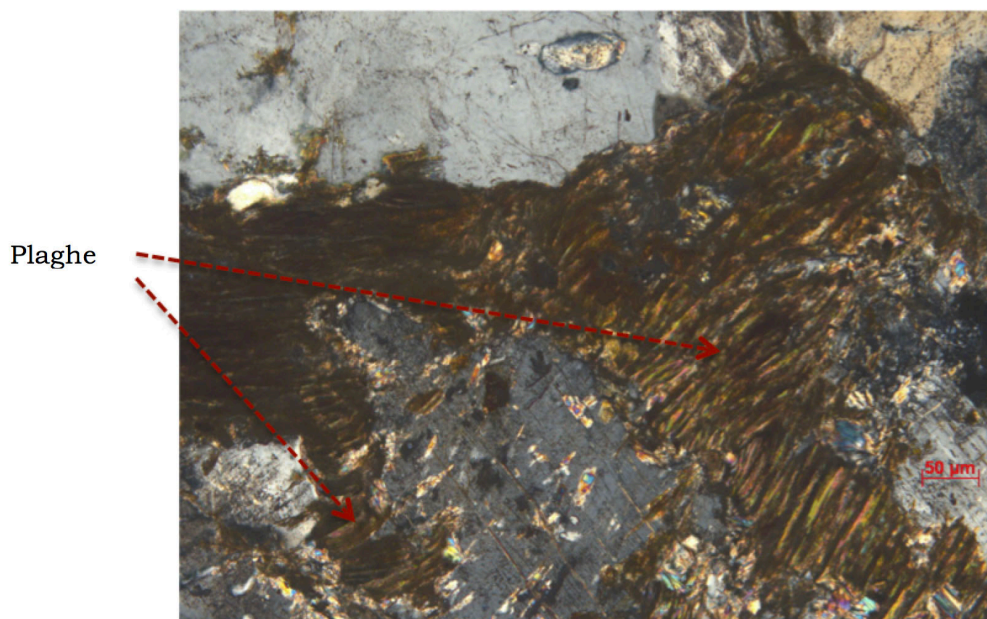
CMC2-1 (Foto 1) – Panoramica. Struttura tabulare. Presenza di fenocristalli quarzo e plagioclasio.
Luce polarizzata, N+



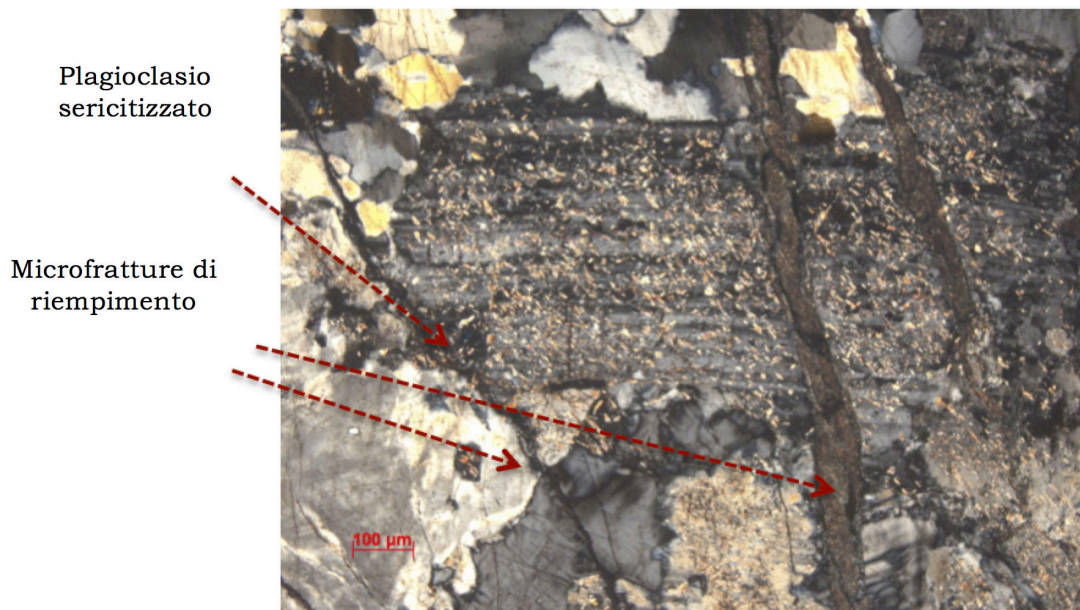
CMC2-1 (Foto 2) – Panoramica. Struttura tabulare. Fenocristalli di K-feldspato alterati.
Luce polarizzata, N+



CMC2-1 (Foto 3) – Vene di ricircolazione. Plagioclasti sericitizzati. Luce polarizzata, N+



CMC2-1 (Foto 4) – Plaghe di riempimento da minerali micacei di neoformazione, al bordo di fenocristalli di quarzo e plagioclasio. Luce polarizzata, N+



CMC2-1 (Foto 5) – Plagioclasio sericitizzato attraversato da microfratture di riempimento. Luce polarizzata, N+

3.2.3 Carota CMC3

Della carota CMC 3 sono stati studiati n. 2 campioni (Tab. 2c), rappresentativi della transizione roccia madre/feldspato.

Campione CMC 3-1

Macroscopicamente la roccia (Fig. 13) si presenta di colore bianco-rosato, parzialmente ossidata e coerente, con fenocristalli di quarzo.

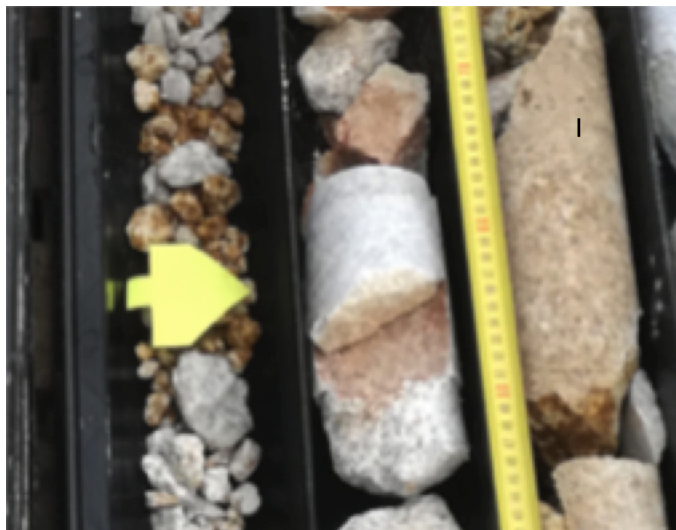
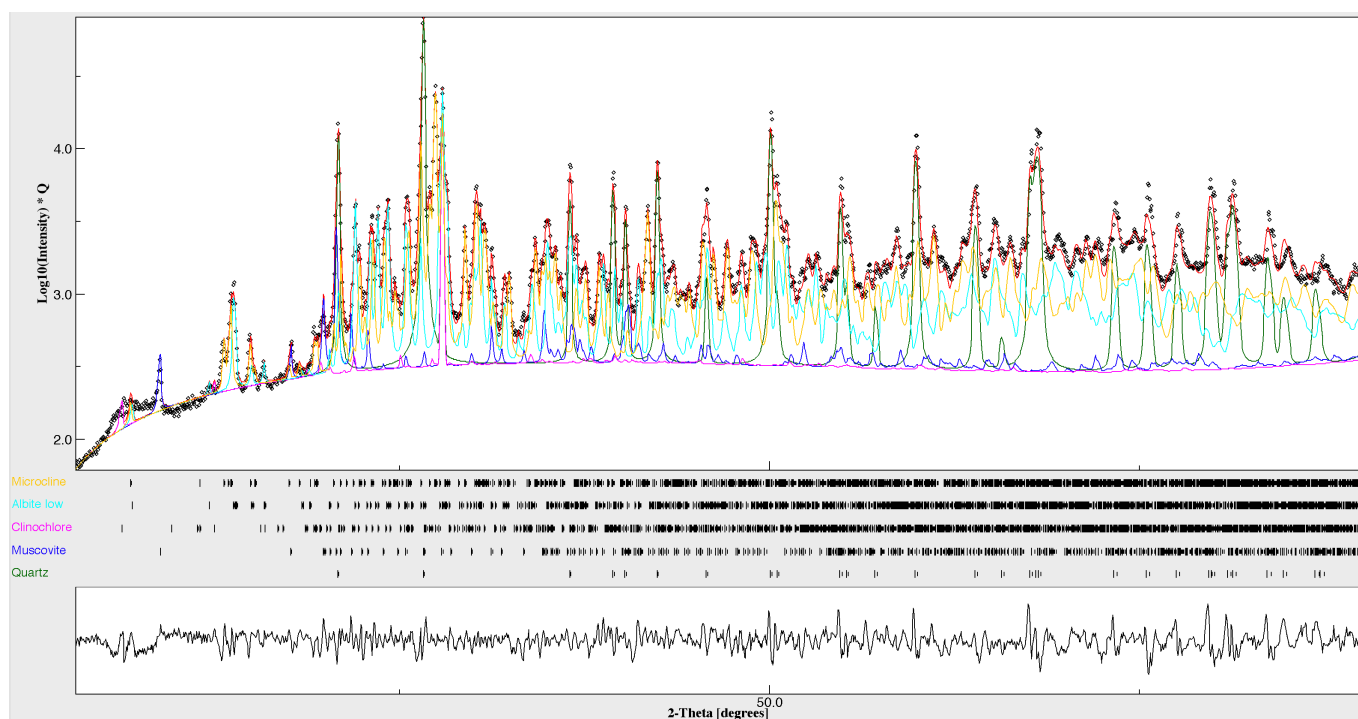


Figura 13 – Campione CMC 3-1

Analisi XRD

L'analisi XRD (Fig. 9a) mostra un'associazione mineralogica che include prevalenti microclino e quarzo (35% e 32%), plagioclasio albitico per circa il 29%, muscovite circa l'1% e clinocloro inferiore all'1%.

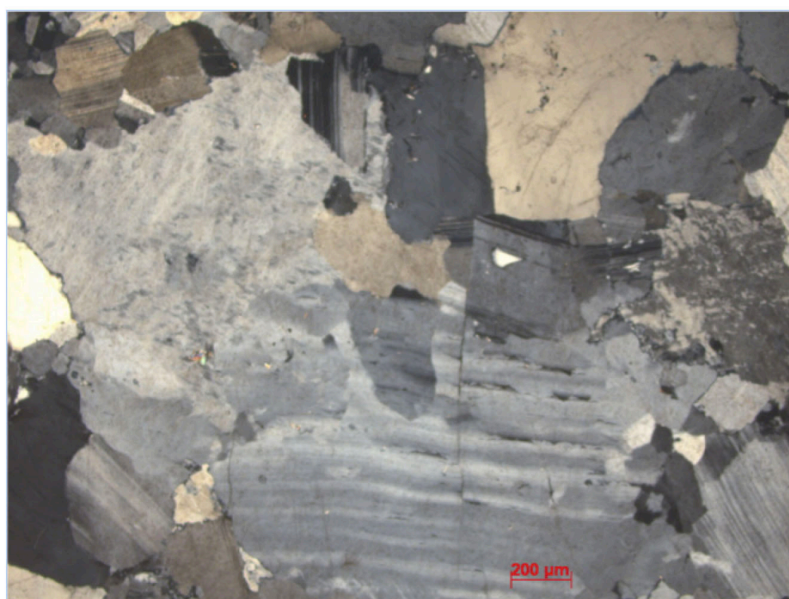


Wgt'd ssq = 29521.512
2, iterations – pause
sig= 4.1297216
Rwp (%) = 15.106684
Rwpnb (% , no bkg) = 17.91924
Rwpnb1 (% , no bkg rescaled) = 16.77694
Rwpnb2 (% , no bkg rescaled^2) = 15.976175
Rb (%) = 11.179335
Rexp (%) = 3.6580393
iterations = 2
Quartz , weight %: 32.77861 +- 0.0
Muscovite , weight %: 1.2224613 +- 0.06954423
Clinocllore , weight %: 0.2592619 +- 0.064999394
Albite low , weight %: 29.769234 +- 0.57455903
Microcline , weight %: 35.970436 +- 0.5558526

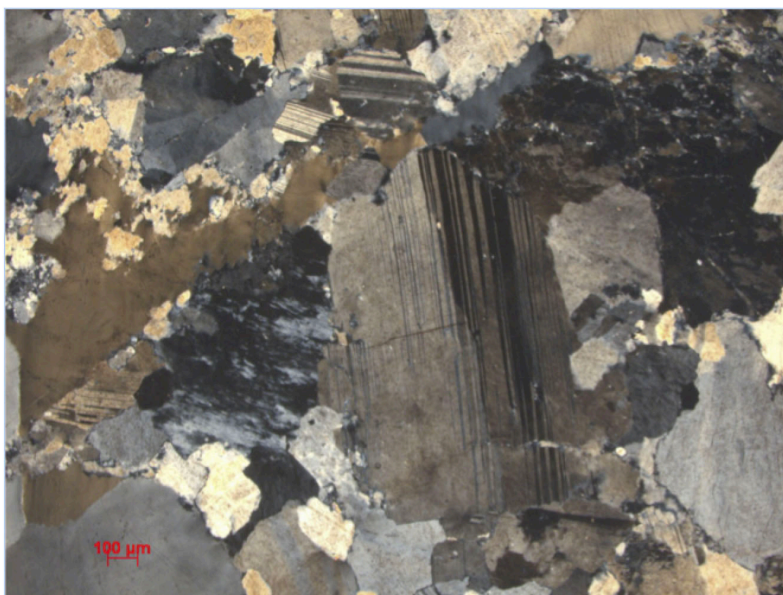
Figura 13a – Spettro XRD del campione CMC 3-1 e analisi mineralogica quantitativa.

Petrografia

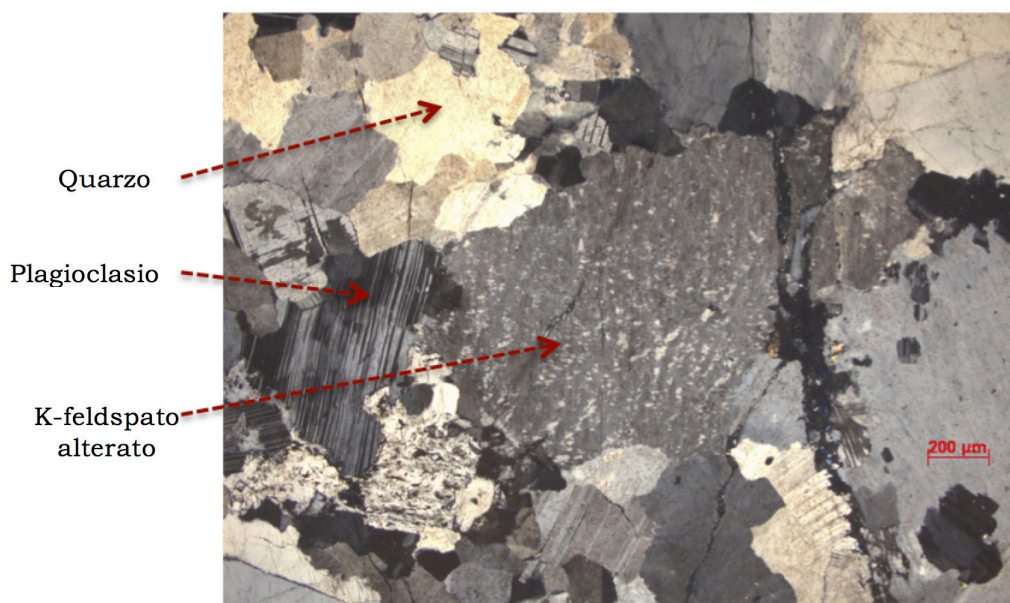
SEZIONE CMC3-1 – Transizione leucogranito/feldspato. Roccia a struttura tabulare, sana e poco fratturata, raramente interessata da fenomeni di alterazione. Presenza di fenocristalli di quarzo allotriomorfo, più piccoli plagioclasii, K-feldspato alterato. Non evidenti minerali fibrosi.



CMC3-1 (Foto 1) – Panoramica. Struttura tabulare. Fenocristalli di quarzo e plagioclasio.
Luce polarizzata, N+



CMC3-1 (Foto 2) – Panoramica. Struttura tabulare. Fenocristalli di quarzo e plagioclasio. Luce polarizzata, N+



CMC3-1 (Foto 3) – Panoramica. Struttura tabulare. Fenocristalli di quarzo, plagioclasio e K-feldspato alterato. Luce polarizzata, N+

Campione CMC3-2

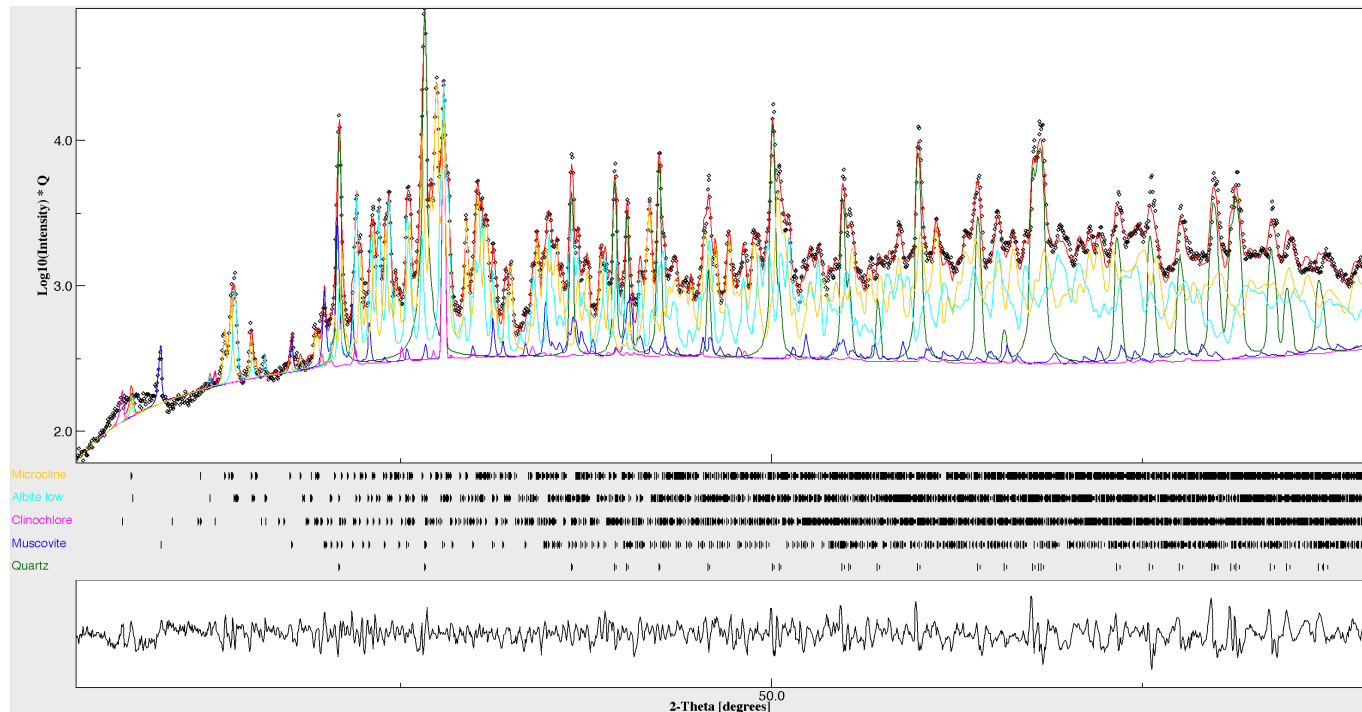
Macroscopicamente la roccia (Fig. 14) si presenta di colore biancastro, parzialmente ossidata e coerente, con fenocristalli di quarzo.



Figura 14 – Campione CMC 3-2

Analisi XRD

L'analisi XRD (Fig. 9a) mostra un'associazione mineralogica che include prevalenti microclino e quarzo (36% e 32%), plagioclasio albitico per circa il 29%, muscovite circa l'1% e clinocloro inferiore all'1%.

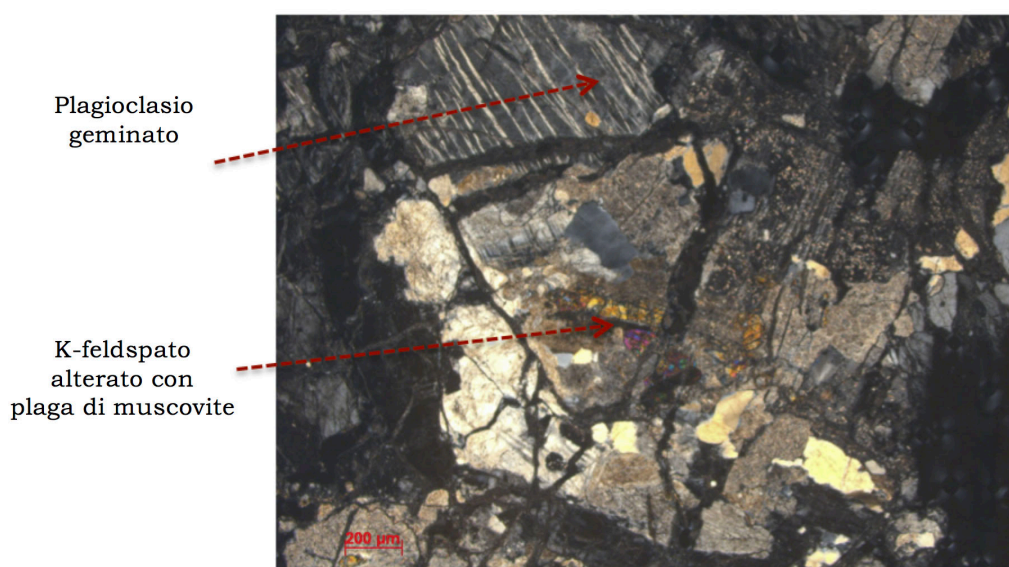


```
Wgt'd ssq = 30187.418
0.010722788 0.002365489 0.29799926
0.36379573 294.27374 -6.001678
0.037853144 707.0033 867.37256
-51.58512 347.76462 1494.5691
27.877647 0.07901291
convergence reached
# of params fit = 14
# of params converged = 14
lambda/l(min) = 1.0000001E-14
sig= 4.1760383
Rwp (%) = 15.268471
Rwpnb (% , no bkg) = 18.078182
Rwpnb1 (% , no bkg rescaled) = 16.925161
Rwpnb2 (% , no bkg rescaled^2) = 16.124077
Rb (%) = 11.358186
Rexp (%) = 3.6562097
# iterations = 1
Quartz , weight %: 32.803314 +- 0.0
Muscovite , weight %: 1.2516754 +- 0.07053476
Clinocllore , weight %: 0.28424153 +- 0.065904565
Albite low , weight %: 29.489233 +- 0.57746834
Microcline , weight %: 36.171535 +- 0.56233734
```

Figura 13a – Spettro XRD del campione CMC3-2 e analisi mineralogica semi-quantitativa.

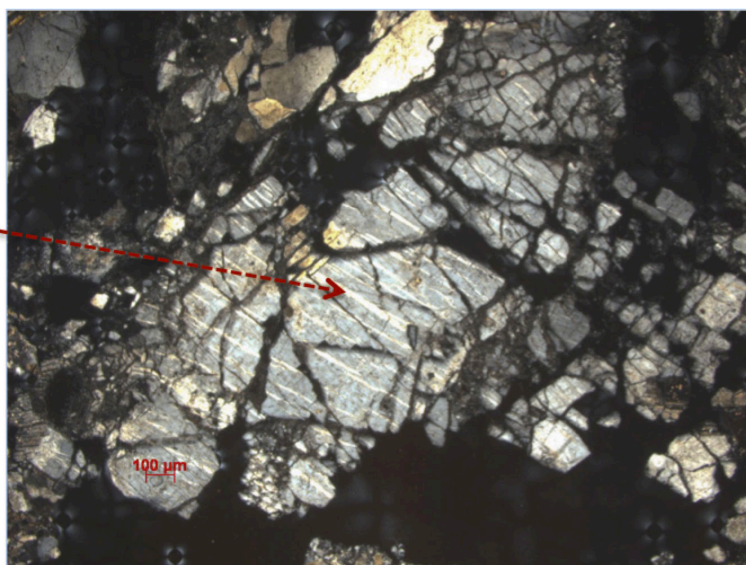
Petrografia

SEZIONE CMC3-2 – Transizione leucogranito/feldspato. Roccia a struttura cataclastica-tabulare, molto alterata, con fenocristalli di dimensioni molto variabili.



CMC3-2 (Foto 1) – Panoramica. Struttura tabulare-cataclastica. Fenocristalli di plagioclasio geminato e K-feldspato alterato, con inclusa plaga di muscovite. Luce polarizzata, N+

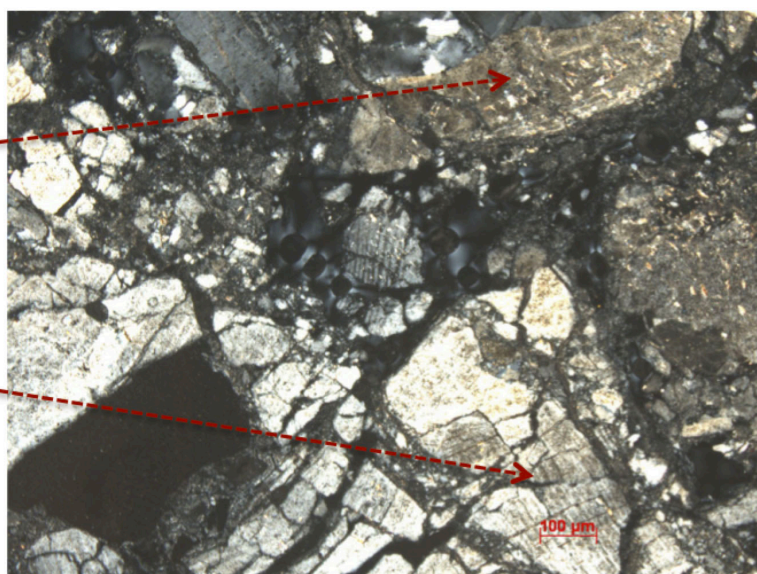
Plagioclasio
geminato e
fratturato



CMC3-2 (Foto 2) – Panoramica. Struttura cataclastica. Plagioclasio geminato e fratturato.
Luce polarizzata, N+

Plagioclasio
sericitizzato

Plagioclasio



CMC3-2 (Foto 3) – Panoramica. Plagioclasii parzialmente alterati e fratturati.
Luce polarizzata, N+

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Gli studi condotti sulle facies di transizione roccia madre/mineralizzazione hanno messo in evidenza una composizione mineralogica della roccia omogenea che include la presenza di poche fasi. Le analisi XRD semi-quantitative mostrano un'associazione principale composta da plagioclasio albitico e subordinato quarzo nella carota CMC1 mentre nelle carote CMC2 e CMC3 si rileva la consistente presenza anche di K-feldspato. In quantità subordinata è stata rilevata anche la presenza di muscovite e clorite.

Lo studio petrografico mette in evidenza che le rocce sono caratterizzate da una struttura tabulare, talvolta cataclastica e costituite da fenocristalli di dimensioni variabili, principalmente di quarzo, in habitus allotriomorfo, plagioclasio, talvolta geminato e in habitus da idiomorfo a sub-idiomorfo, K-feldspato, generalmente allotriomorfo di II generazione. Entrambi i feldspati sono frequentemente alterati in sericite (miscela di fasi quali muscovite, paragonite, illite) e presentano fenomeni di corrosione ai bordi con associate neoformazioni di minerali, generalmente micacei. Miche (muscovite), spesso alterate, e clorite sono presenti in taluni campioni e quantitativamente subordinate. Non sono osservabili minerali opachi (ilmenite, titanite, ecc.) o altri minerali subordinati quali zircone e tutto il corteo di minerali accessori a base calcica quali calcite, smectiti, epidoti, apatite, zeoliti che frequentemente ricorrevano nelle facies di transizione della zona di Orani e più rari anfiboli (famiglia Tremolite-Actinolite).

Alcune facies di transizione, quelle caratterizzate da fenomeni di alterazione più marcati, mostrano in microscopia ottica un reticolo di microfratture che tagliano anche i singoli fenocristalli di quarzo e plagioclasio e fenomeni di ossidazione, generalmente evidenti per l'arrossamento delle superfici dei minerali. Frequentemente, le microfratture sono riempite da minerali di neoformazione, generalmente miche e/o cloriti.

Per quanto concerne la roccia mineralizzata (feldspato), le analisi XRD mostrano una associazione mineralogica principale semplice ed omogenea data da plagioclasio albitico, subordinato quarzo e minori quantità di muscovite e clorite.

Come per le facies di transizione, gli studi al microscopio ottico evidenziano una roccia generalmente a struttura tabulare e un'associazione mineralogica costituita fondamentalmente da fenocristalli di quarzo, in habitus allotriomorfo e plagioclasio, talvolta geminato e in habitus da idiomorfo a sub-idiomorfo, talora allotriomorfo. Il plagioclasio è frequentemente alterato (sericitizzato). Può localmente presentare corrosione ai bordi con neoformazione di minerali micacei. Sono anche osservabili subordinate miche (in genere muscovite alterata) e clorite.

Anche nella roccia mineralizzata non ricorrono minerali opachi o altri minerali subordinati quali zircone e/o minerali calcici quali, calcite, smectiti, epidoti, apatite, zeoliti e/o anfiboli della famiglia Tremolite-Actinolite.

Microfratture che tagliano anche i singoli cristalli, riempite da minerali di neoformazione (in genere miche più o meno alterate), sono talvolta riscontrabili anche nella roccia mineralizzata.

Minerali appartenenti al Gruppo degli Anfiboli, e in particolare al Gruppo della Tremolite-Actinolite, non sono stati rilevati né nella facies di transizione né nella roccia mineralizzata. Non è stata riscontrata la presenza di anfibolo primario, in qualità di minerale accessorio della paragenesi originaria.

Le evidenze e le caratteristiche geologiche e geometrico-giaciturali, nonché paragenetiche, dell'area oggetto del presente studio si differenziano considerevolmente per contesto e qualità rispetto all'area di Orani. La mineralizzazione a feldspato di quest'ultima si forma per l'azione di fenomeni metasomatici sulle rocce granitoidi, inquadrata in un contesto geologico in cui sono presenti, al contatto e/o adiacenti tramite faglie regionali e fratture, anche imponenti coperture di rocce metamorfiche paleozoiche. Le rocce metamorfiche derivano da originarie formazioni terrigene (arenarie) e carbonatiche (calcari) che, successivamente a importanti fenomeni di metamorfismo regionale, sono state trasformate in meta-arenarie e meta-calcari, ospitanti, questi ultimi, le mineralizzazioni a talco adiacenti al feldspato di Orani. I fenomeni metasomatici, che hanno agito in questo ambiente, hanno dato origine alla mineralizzazione a feldspato e la diffusione dei fluidi, epi- e post-genetici, ha consentito la ricircolazione dell'abbondante Calcio, a disposizione nel sistema (metacalcari), che ha contribuito alla neoformazione di un corteo di minerali, a base calcica, quali, calcite di seconda generazione, smectiti, epidoti, apatite, zeoliti e anfiboli, che rientrano in paragenesi sia della mineralizzazione sia delle rocce di transizione (cosiddetto granitoide albitizzato). Va ricordato inoltre che, a Orani, alcuni di detti minerali ricorrono in particolare concentrazione in spalmature e croste superficiali, incluse in fratture e microfratture, nella roccia più o meno completamente mineralizzata al contatto con le rocce paleozoiche metamorfiche. In particolare, l'anfibolo fu peraltro ritrovato in rari e circoscritti spot al contatto mineralizzazione/roccia metamorfica e/o granitoide albitizzato/roccia metamorfica, non significativi a scala giacimentologica.

Le evidenze geologiche e geometrico-giaciturali dell'area di Cuccuru Mannu differiscono considerevolmente da quelle dell'area precedentemente descritta. La copertura paleozoica metamorfica terrigena (micascisti), ma soprattutto quella in matrice carbonatica calcica, è totalmente assente, almeno in prossimità del Cantiere. Dal punto di vista geometrico-giaciturale,

il corpo feldspatico principale forma un crinale allungato, allineato con altri di minor estensione secondo la direzione NE-SW. Pertanto, sulla base delle evidenze di campagna, potrebbe essere assimilato ad un differenziato acido di tipo aplitico da cui si diramano più o meno estese propaggini (vedi campione superficiale n. 5 e altri affioramenti adiacenti al crinale di Cuccuru Mannu).

Gli studi effettuati sulle carote prelevate dimostrano che l'associazione mineralogica delle facies di transizione e delle facies a feldspato è la medesima, a meno della presenza di K-feldspato nelle prime.

La facies di transizione è molto sfumata e non presenta interruzioni o variazioni importanti nella struttura della roccia.

Cagliari 19.12.2017

I Responsabili CNR

Dr. Marcella Palomba



Dr. Ing. Gianfranco Carcangiu

