

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DIPARTIMENTO
DI GEOSCIENZE

Studio di inclusioni di fuso silicatico nell'aureola metamorfica del gabbro di Sondalo (dominio Austroalpino, Alpi centrali)

Laureando: Davide Cappellari

Relatore: Prof. Omar Bartoli

Correlatore: Prof. Bernardo Cesare

Laurea Triennale in Scienze Geologiche

Anno accademico 2018-2019

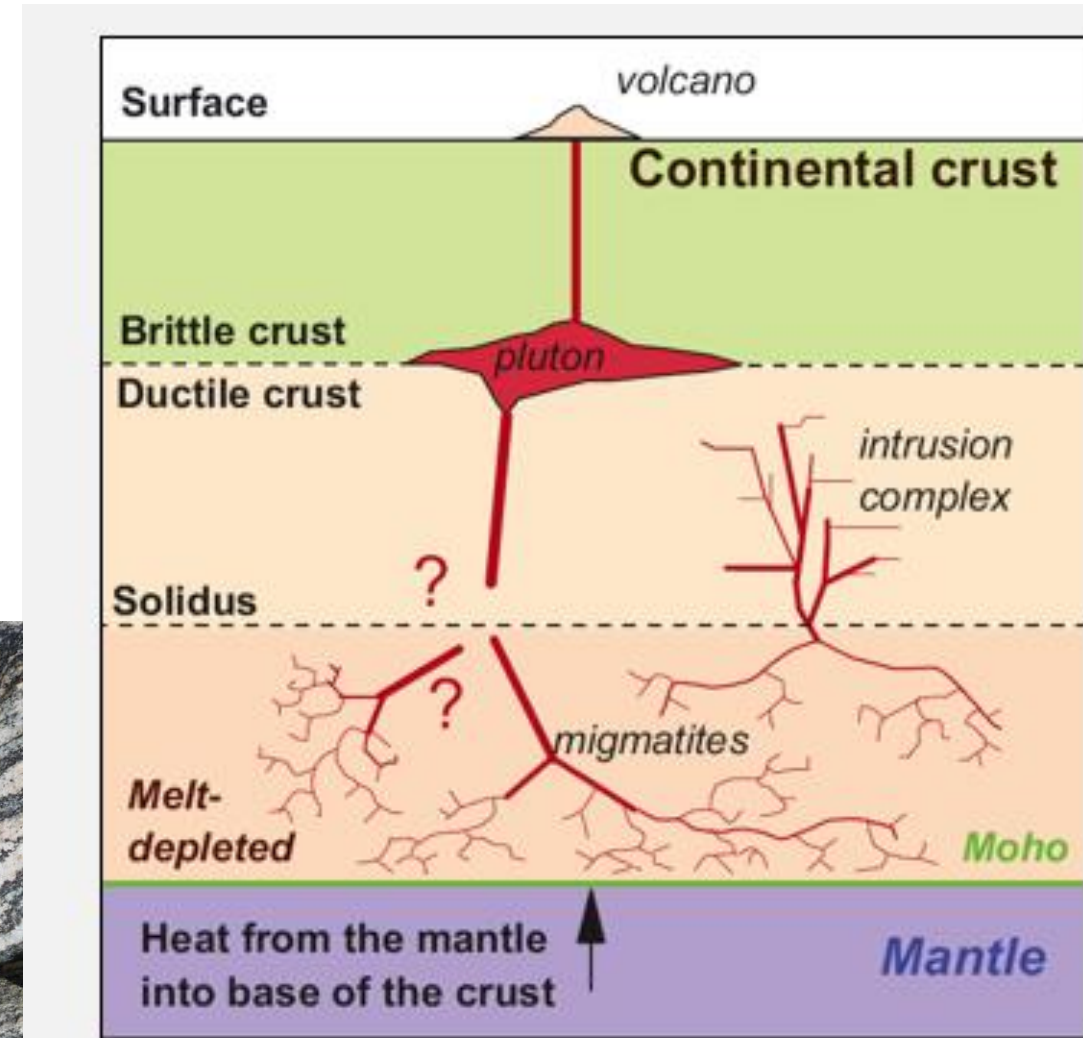
Introduzione: anatessi crostale

Parametri che influenzano la fusione parziale:

- Composizione
- Temperatura
- Pressione
- Presenza di fluidi

Prodotti:

- Metamorfismo di alto grado
- Migmatiti
- Magmi acidi

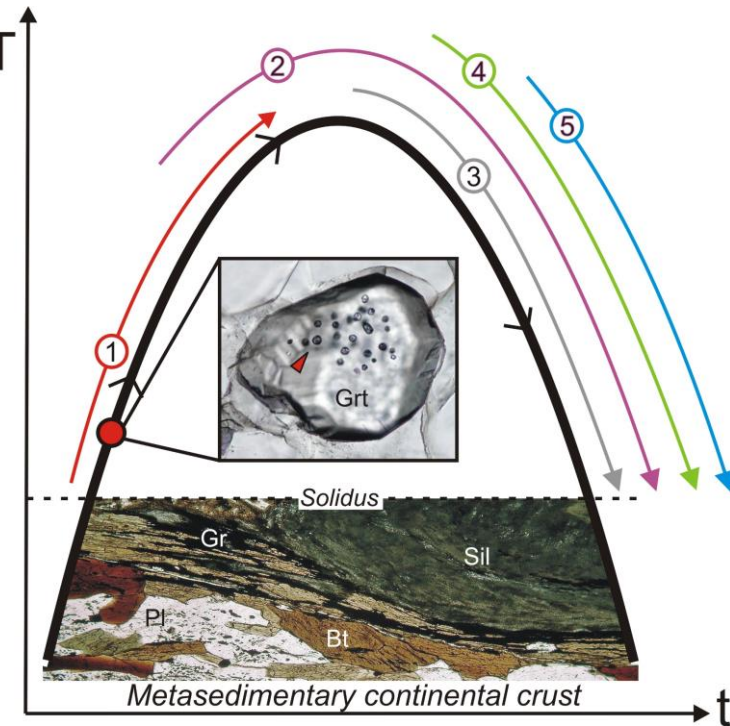


Sawyer et al., (2011)

Introduzione: le inclusioni di fuso silicatico (MI)

Gocce di fuso silicatico intrappolate durante la crescita dei minerali T

- Intrappolamento durante il raffreddamento (3)
 - Cristallo ospite che cristallizza dal magma
 - Composizione evoluta del fuso
- Intrappolamento durante il riscaldamento (1)
 - Fusione incongruente
 - Formazione di minerali peritettici
 - Composizione primaria del fuso



① Melt formation and MI entrapment
 $Bt + Sil + Pl + Qtz = Grt + melt (\pm Kfs)$

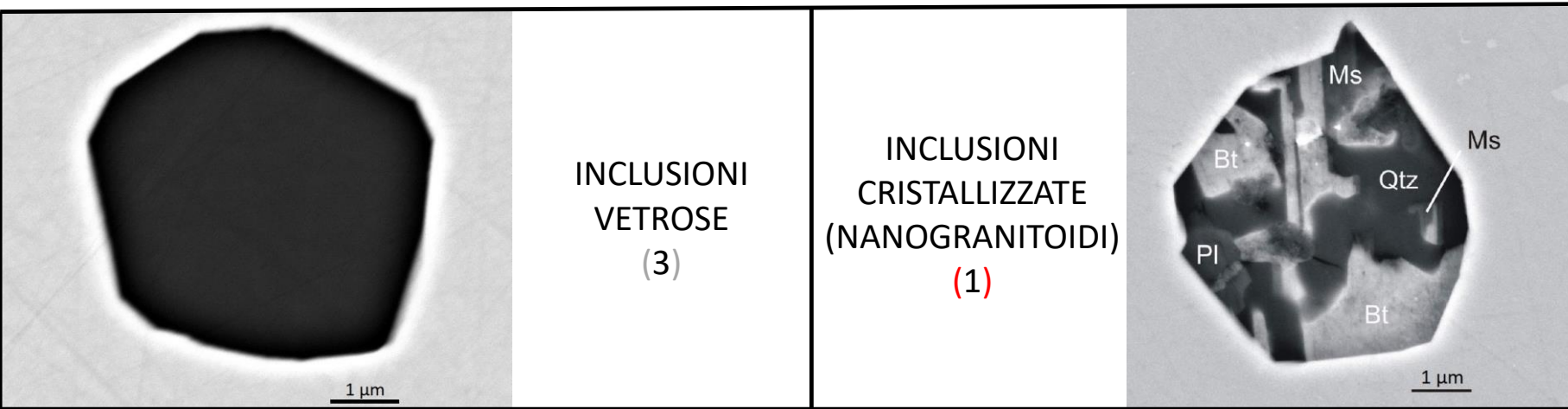
② Melt segregation

③ Magma crystallization and differentiation

④ Volatile degassing

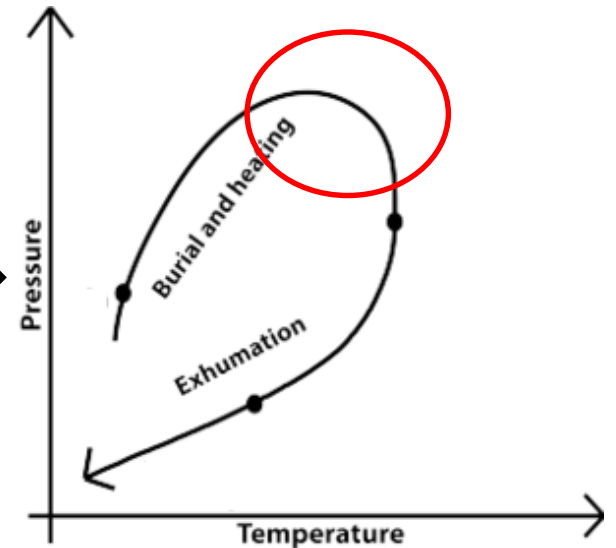
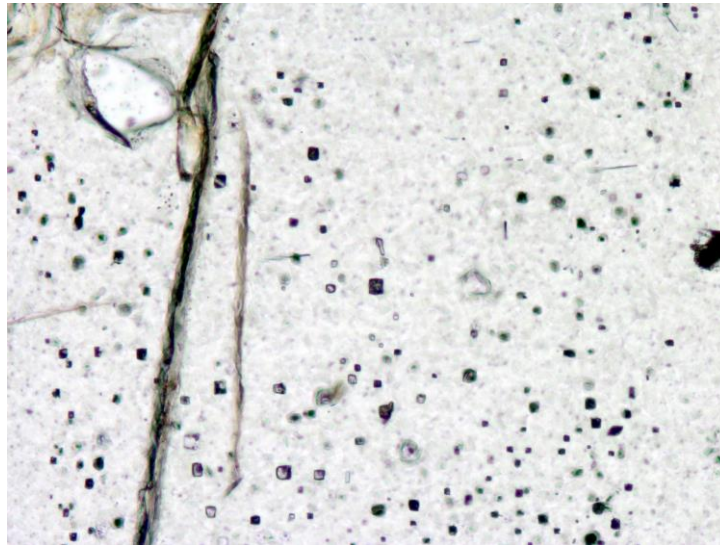
⑤ Entrapment of "classic" MI

Bartoli et al., (2016)



Obiettivi

- Identificazione dei campioni che contengono MI promettenti
- Caratterizzazione microstrutturale delle MI
- Ricostruzione della storia anatettica attraverso le MI



Metodologie analitiche utilizzate

Microscopio polarizzatore

- Studio petrografico delle rocce
- Selezione delle sezioni con inclusioni di fuso silicatico cristallizzate



Università degli studi di Padova,
Dipartimento di Geoscienze

Microscopio a scansione elettronica (SEM)

- Studio delle inclusioni e delle microstrutture
- Selezione dei granati da analizzare con la microsonda



Università degli studi di Padova,
Dipartimento di Geoscienze

Microsonda elettronica (EMPA)

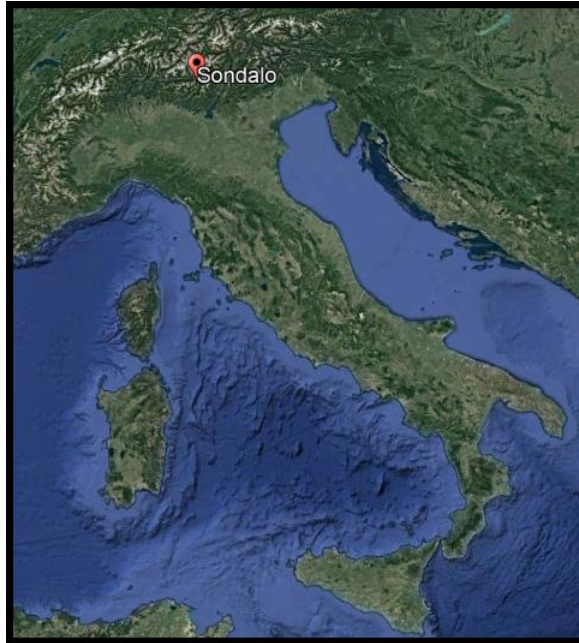
- Transetti composizionali dei granati
- Analisi chimica puntuale degli spinelli



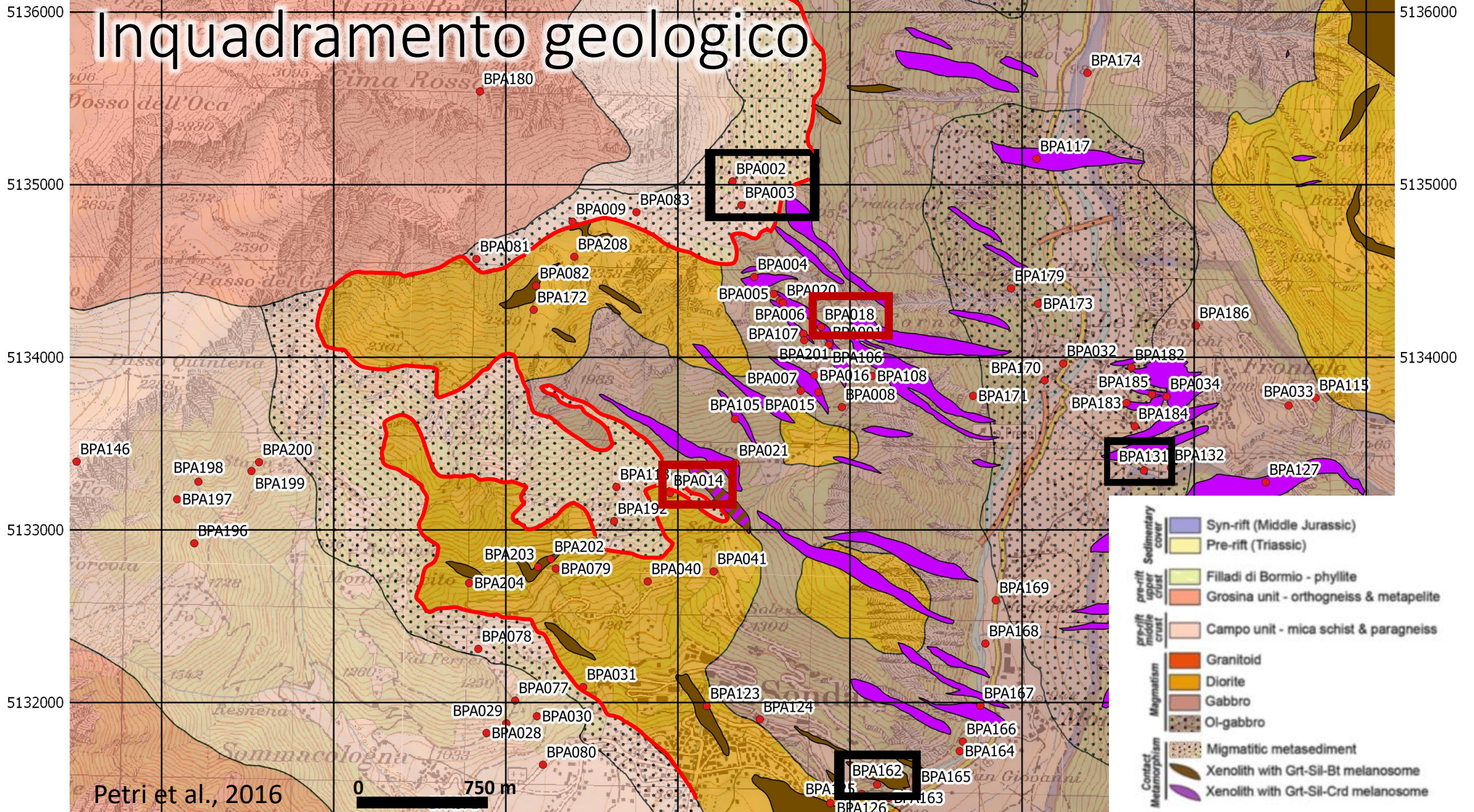
Università degli studi di Milano,
Dipartimento di Scienze della Terra

Inquadramento geologico

- Sondalo, Alpi Centrali, Dominio Austroalpino
- Deformazione e metamorfismo alpino minori, preservata la tettonica prealpina
- Metamorfismo regionale nel Carbonifero, «Campo Unit» costituita da micascisti (circa 5.6 kbar/650 °C)
- Intrusione del gabbro di Sondalo nel Permiano, (300-280 Ma) e metamorfismo di contatto (circa 5.5 kbar/930 °C)



Inquadramento geologico



BPA-018-11A

▪ Bt

▪ Bt

▪ Grt

▪ Spl

▪ Grt

▪ Crd

▪ Sil

▪ Crd

▪ Spl

▪ Grt

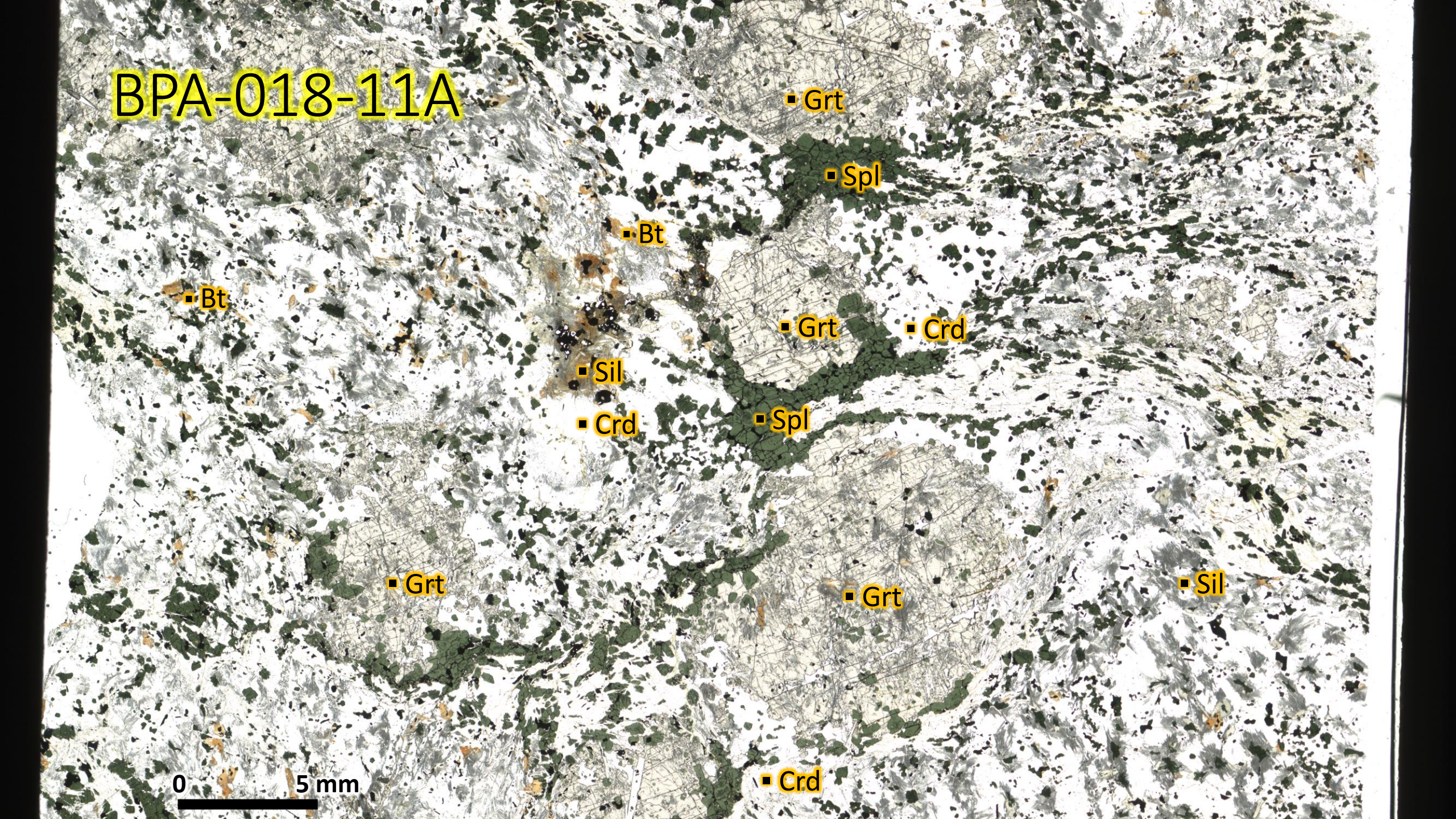
▪ Grt

▪ Sil

0

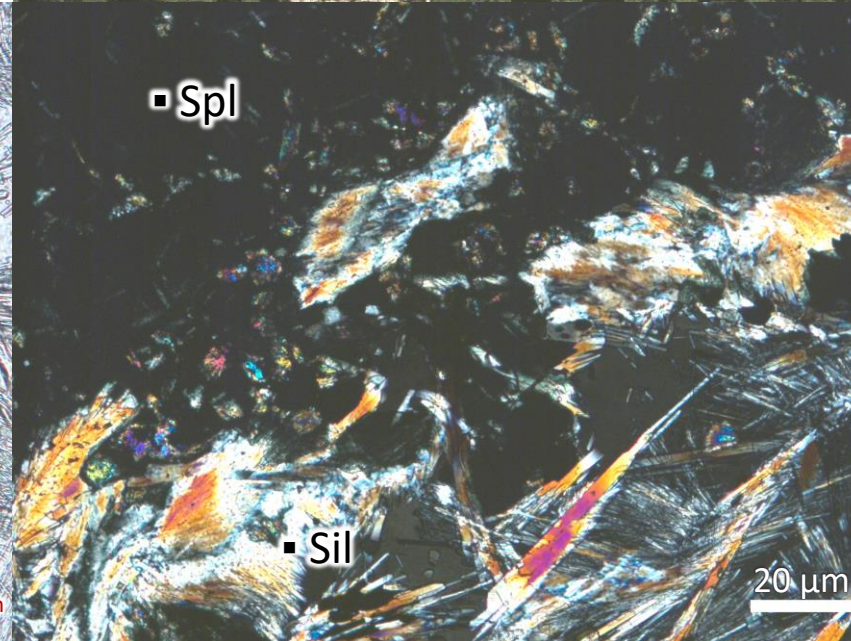
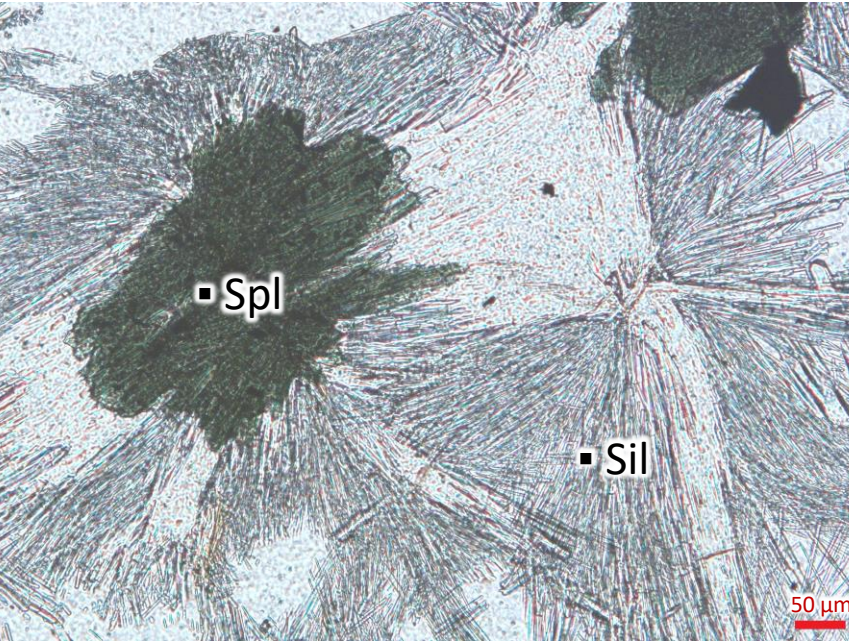
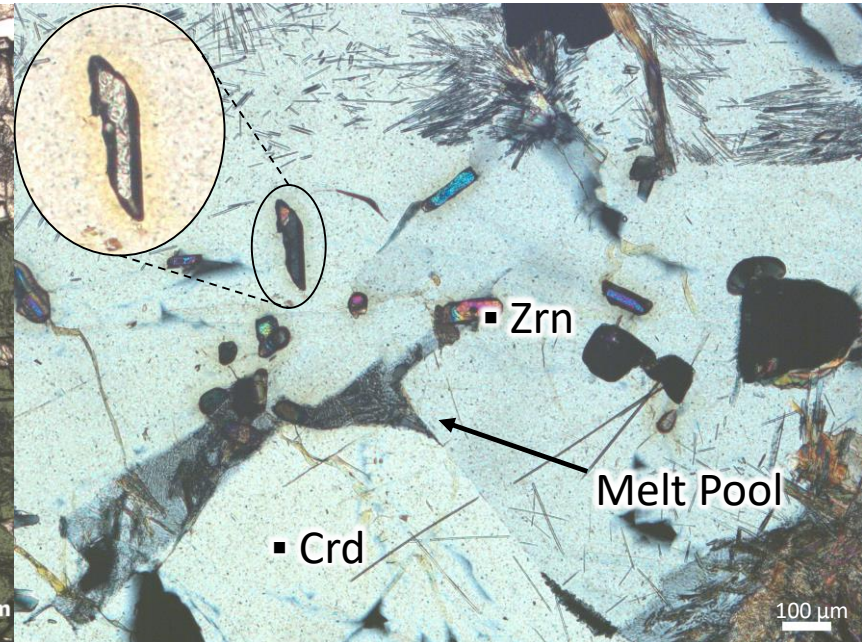
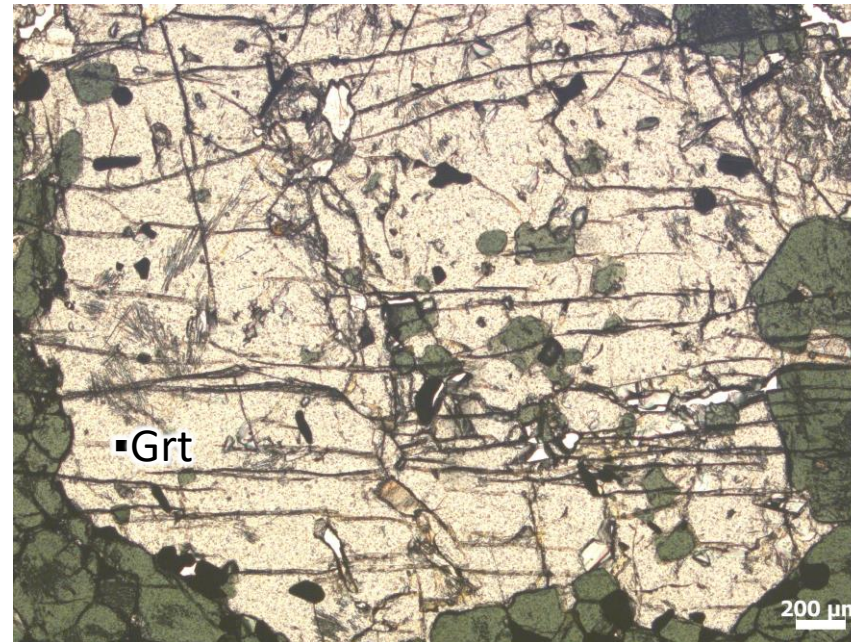
5 mm

▪ Crd



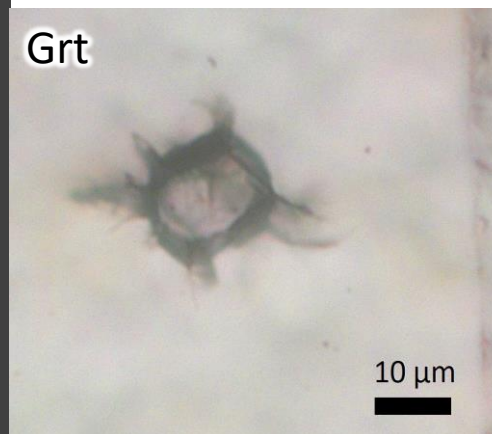
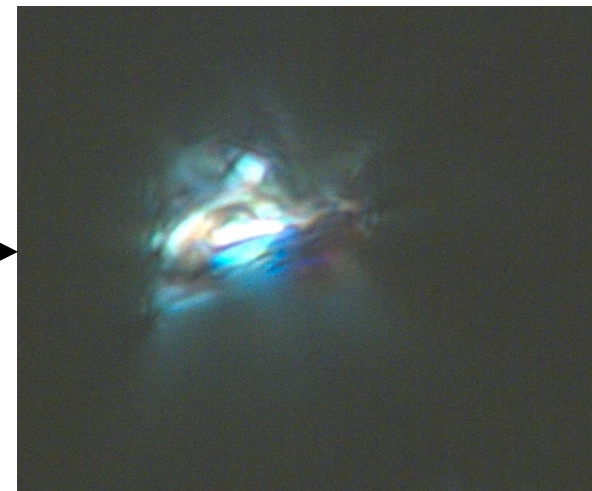
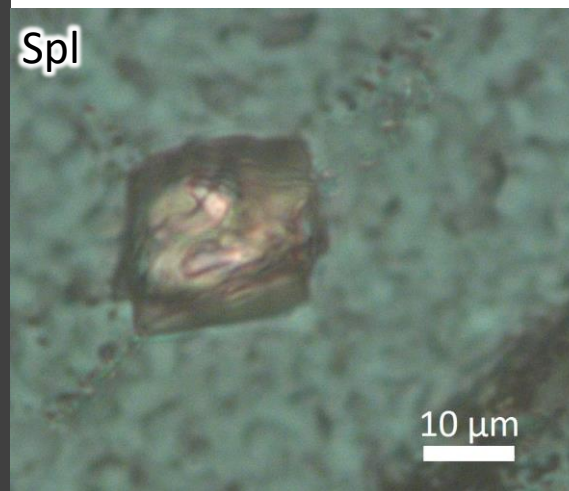
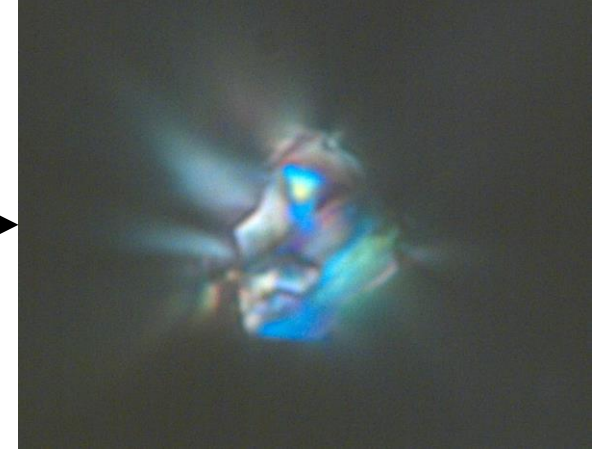
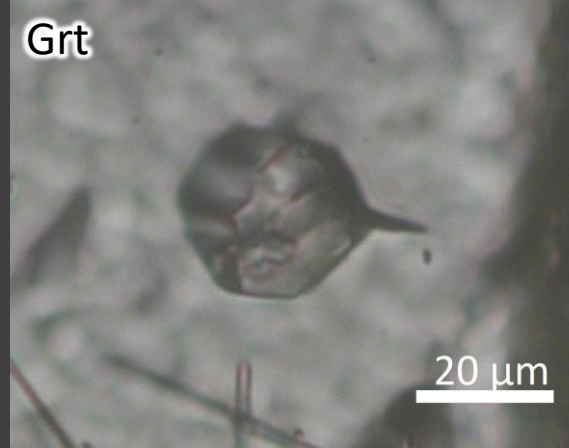
Petrografia BPA-018-11A

- Roccia: incluso granulitico
- Struttura gneissica eteroblastica, con porfiroblasti di granato
- Mineralogia: Grt, Spl, Sil, Crd, Ilm, poca Bt, (Zrn)
- Evidenze di fusione parziale



Microstrutture delle inclusioni: BPA-018-11A

- In granati e spinelli
- Dimensioni variabili nei granati, da pochi μm (più frequenti) ad un centinaio di μm . Dimensioni minori a 30 μm negli spinelli
- Forma a cristallo negativo o forme più irregolari
- Fratture da decrepitazione
- Policristalline



BPA-014-UU

▪ Sil

▪ Bt

▪ Grt

▪ Grt

▪ Bt

▪ Grt

▪ Qz

▪ Qz

▪ Grt

▪ Sil

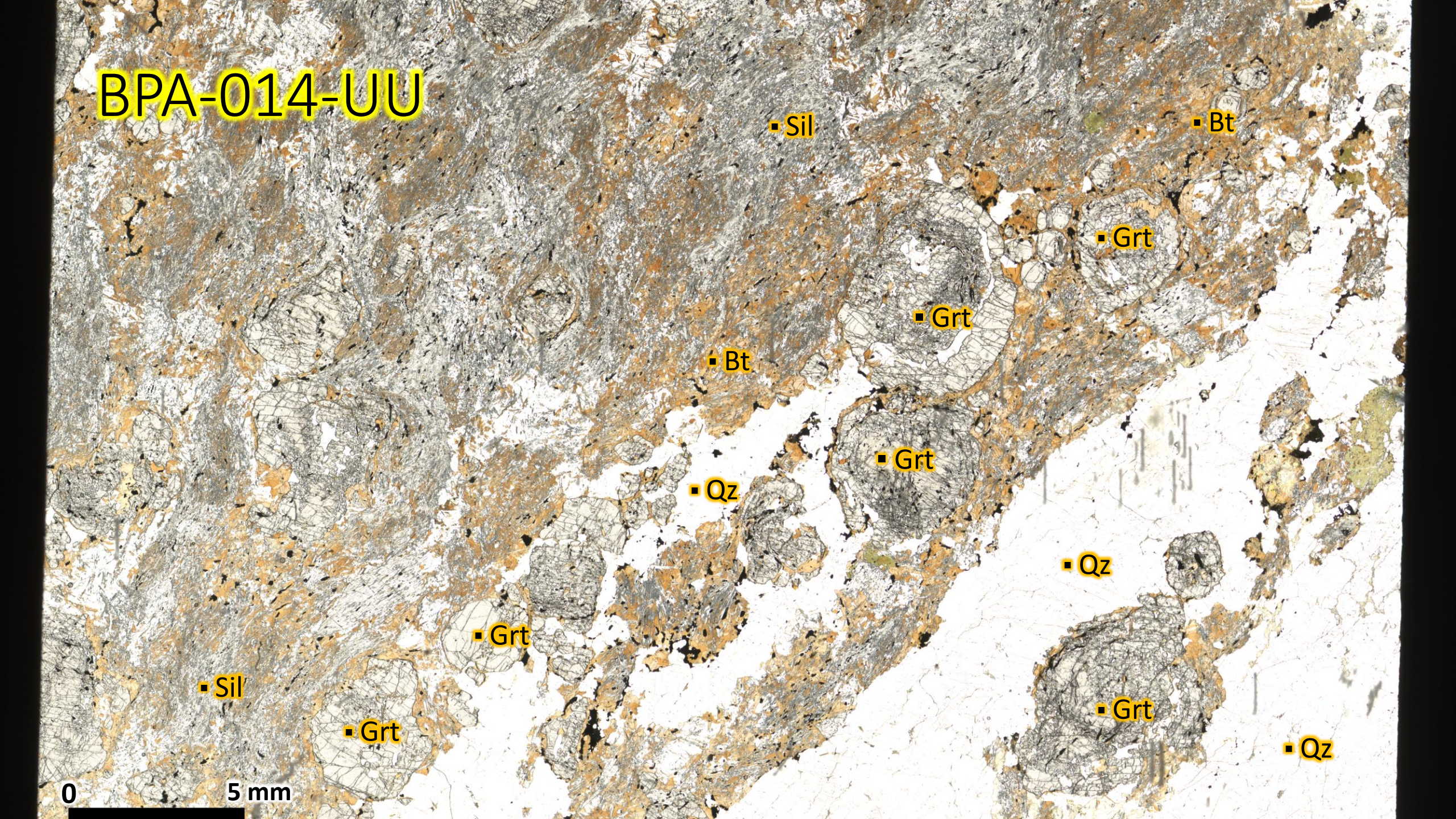
▪ Grt

▪ Grt

▪ Qz

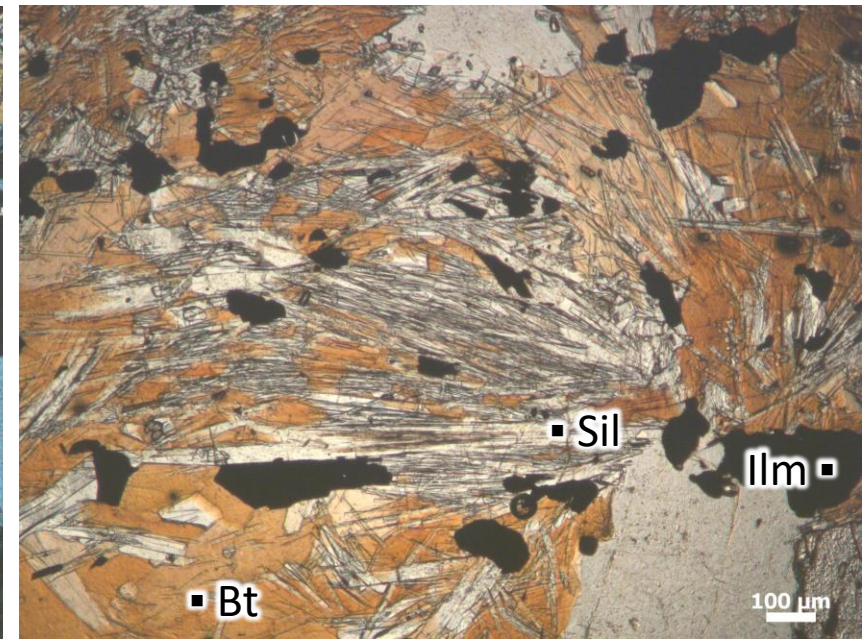
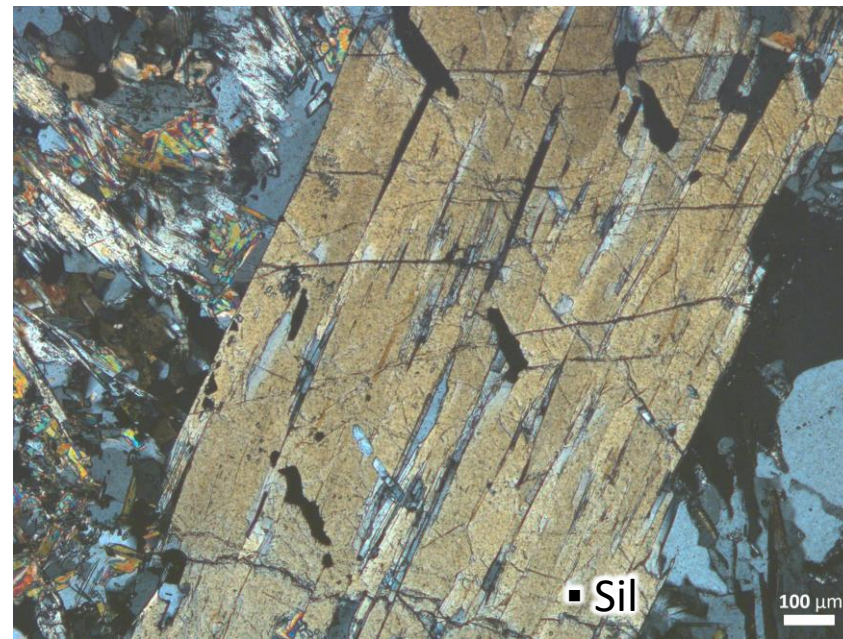
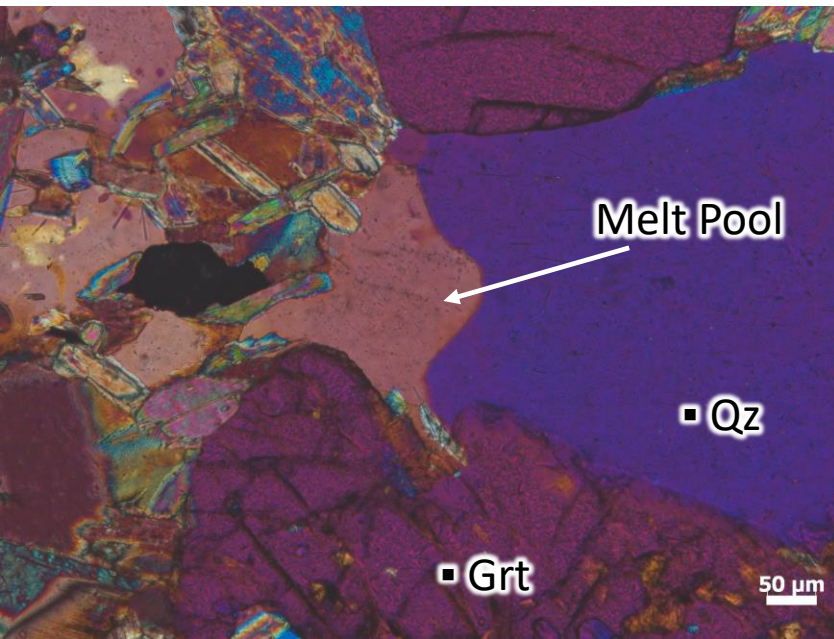
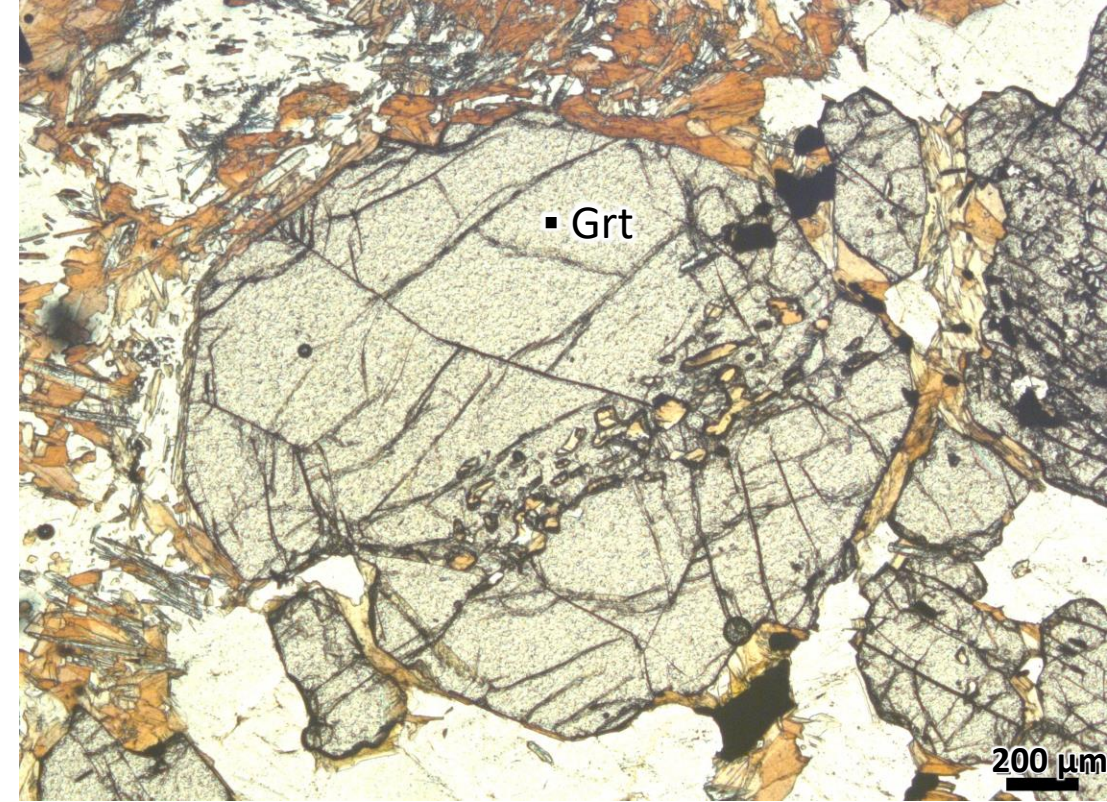
0

5 mm



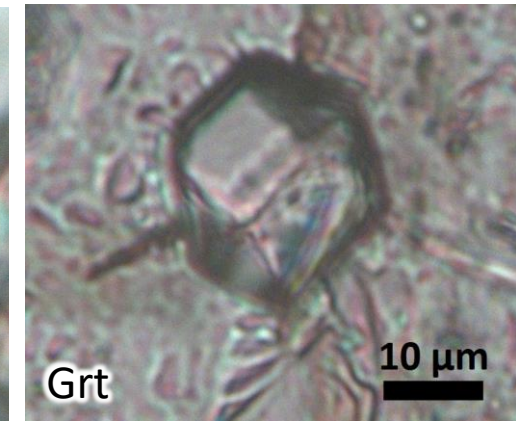
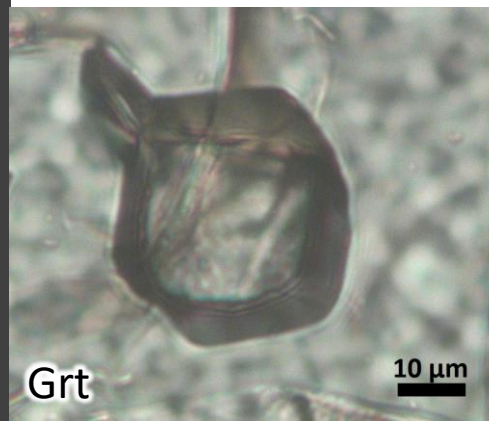
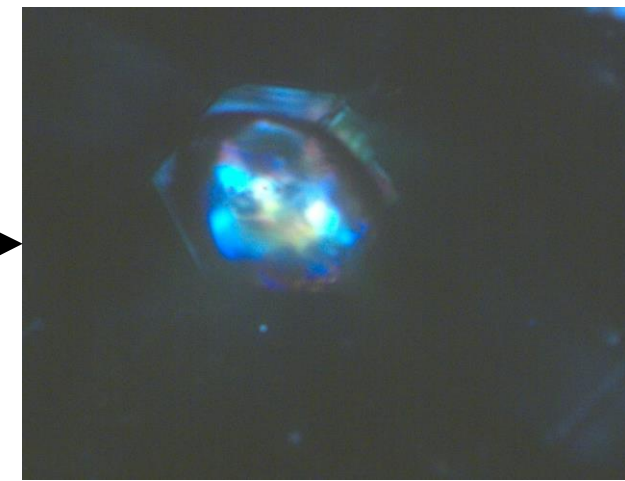
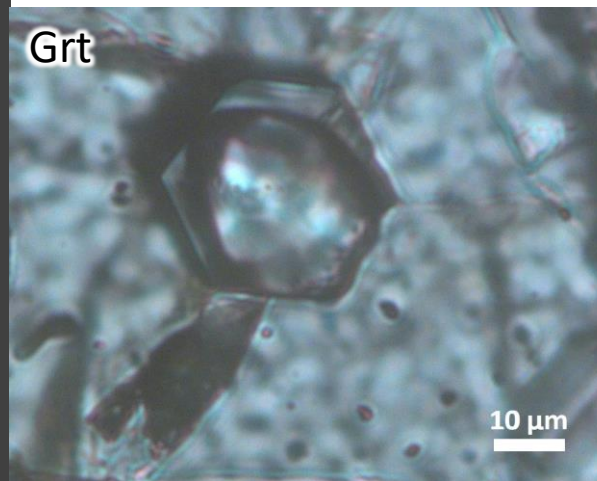
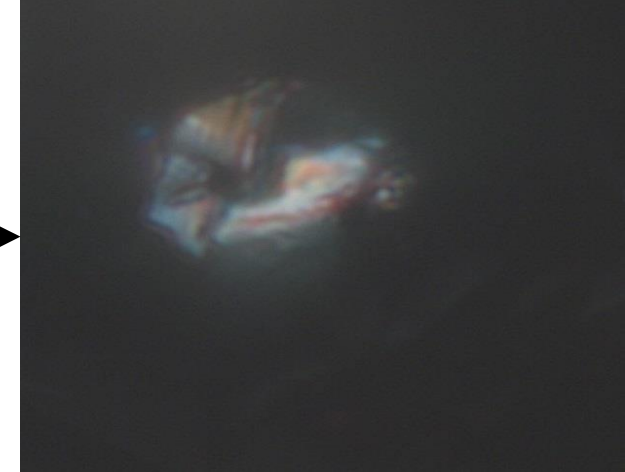
Petrografia BPA-014-UU

- Roccia: migmatite
- Metatessite
- Mineralogia: Grt, Bt, Sil, Crd, Ilm, Kfs, Qz, Plg, (Zrn, Ru)
- Evidenze di fusione parziale



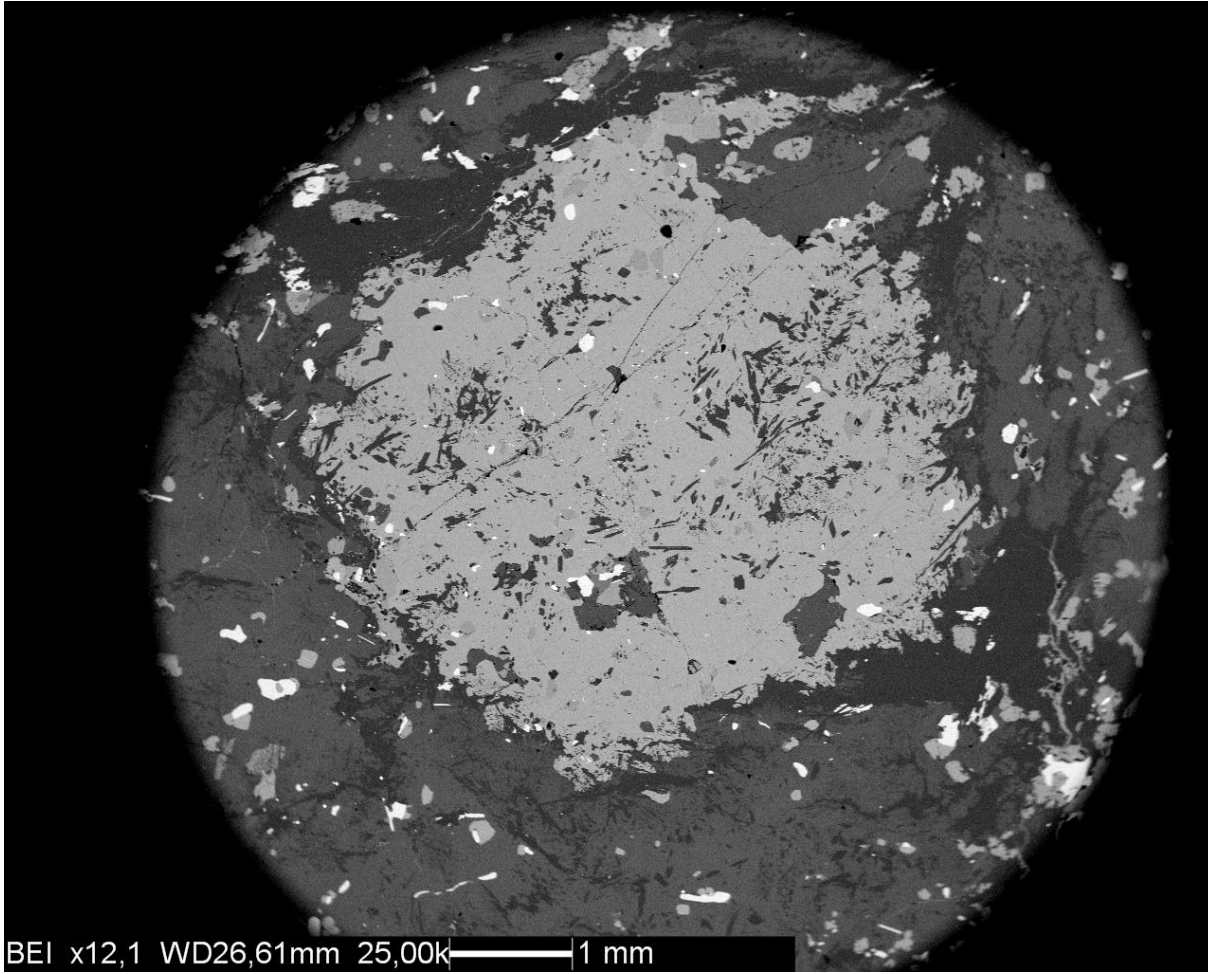
Microstrutture delle inclusioni: BPA-014-UU

- In granati
- Dimensioni variabili, da pochi μm (più frequenti) ad un centinaio di μm
- Forma a cristallo negativo
- Policristalline
- Fratture da decrepitazione
- Possono contenere fasi intrappolate (zircono, monazite, rutile, grafite)



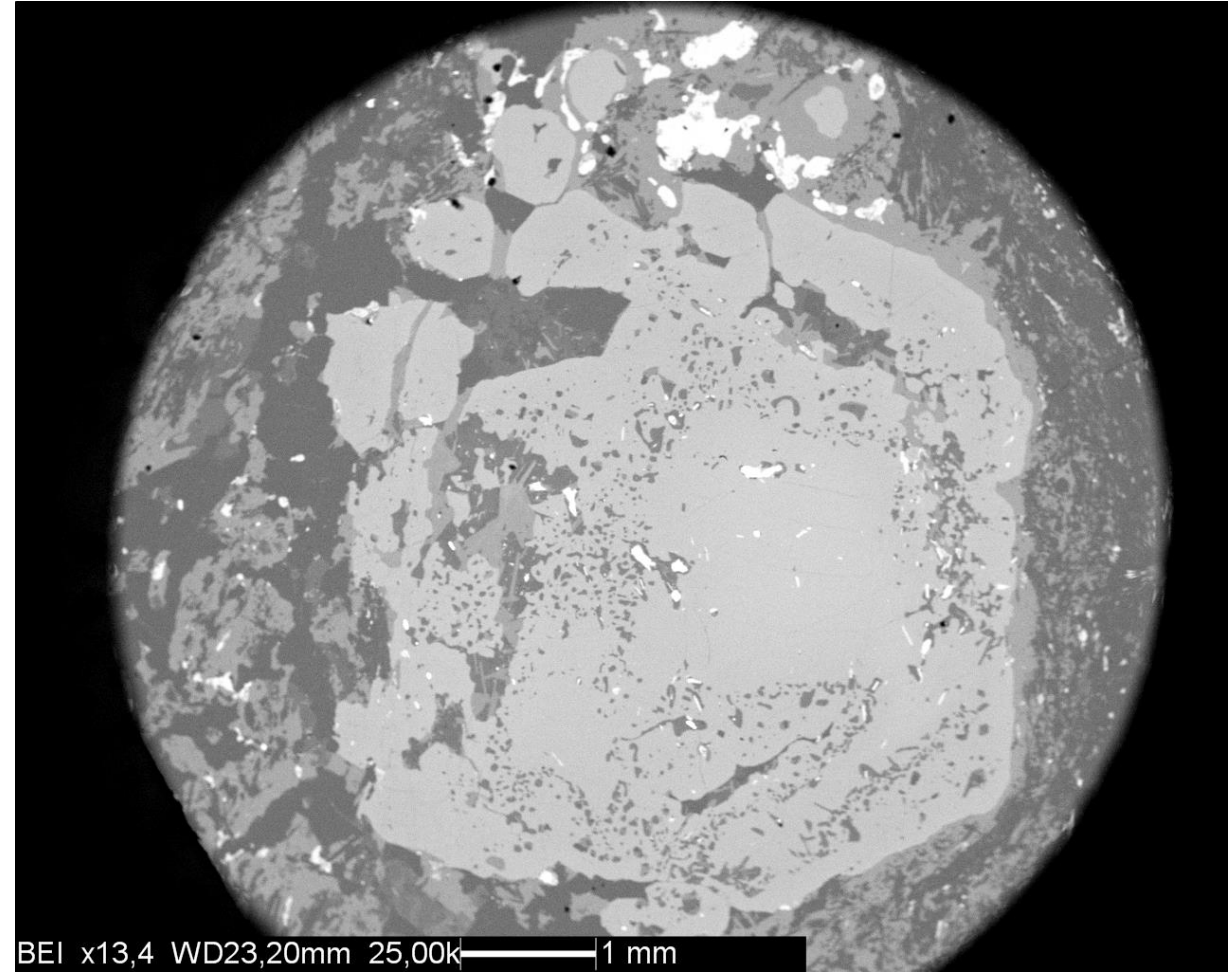
Analisi al SEM

BPA-018-11A

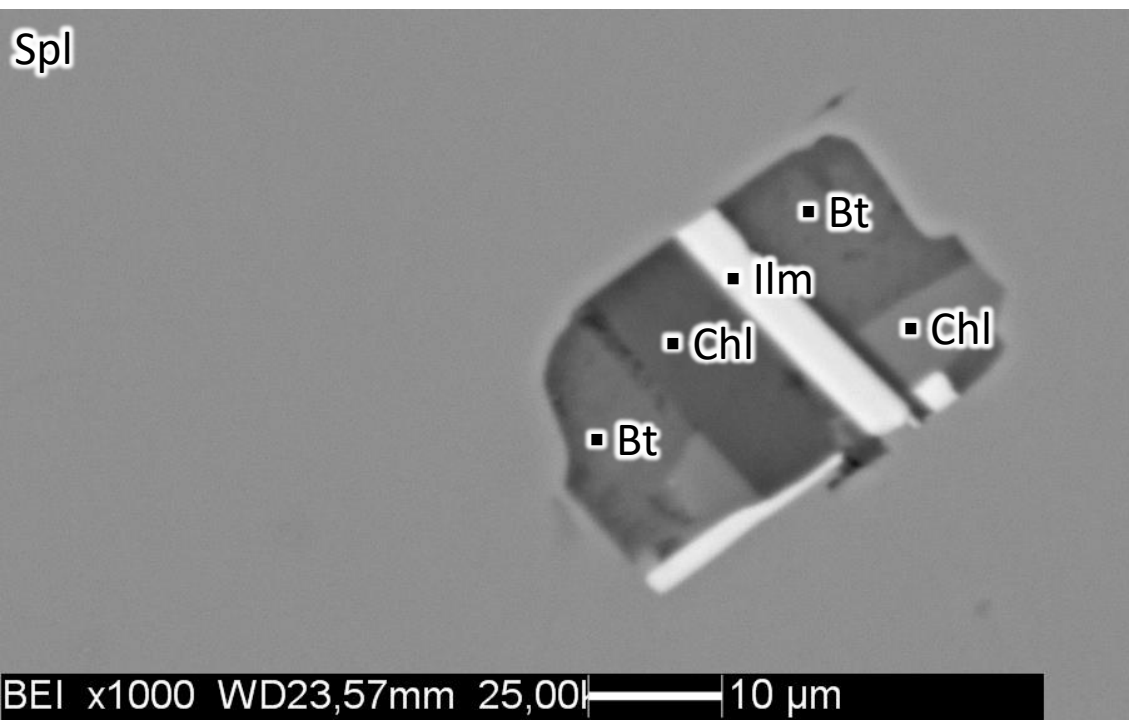
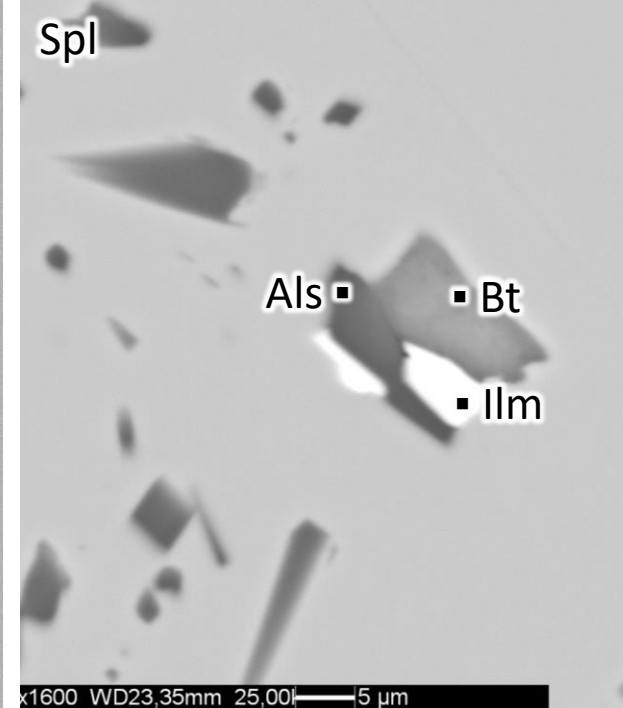
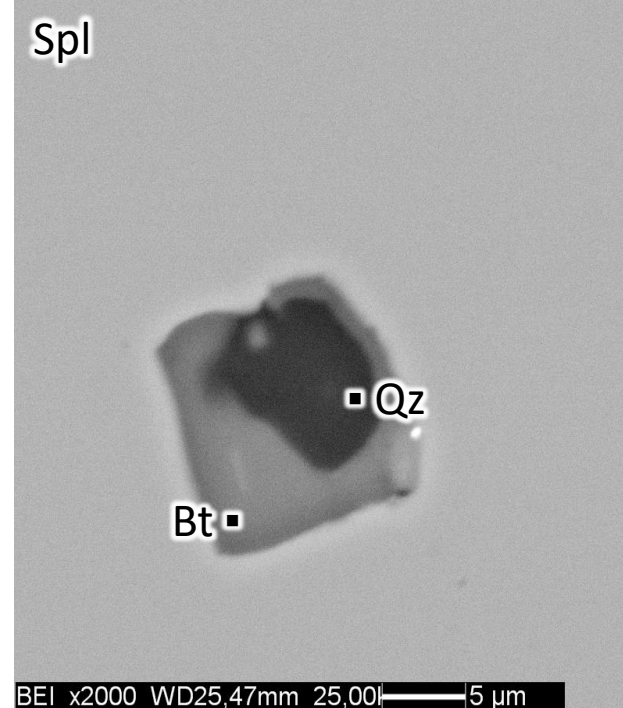
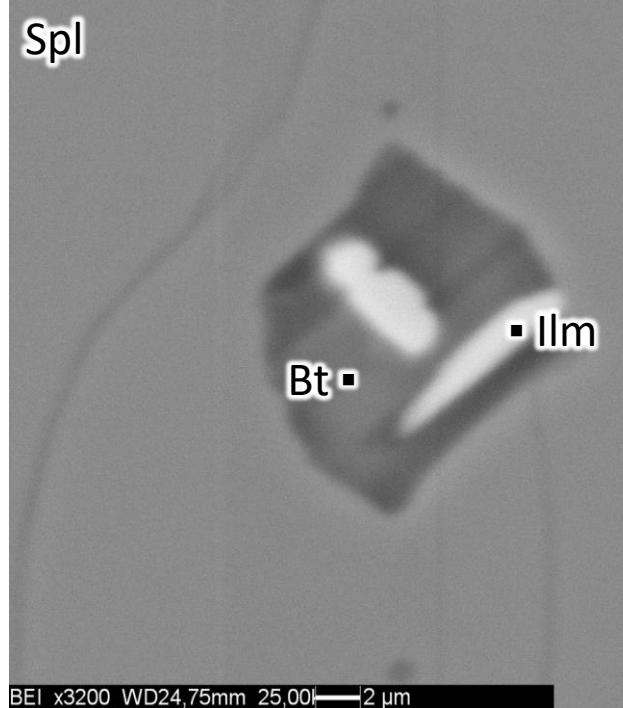
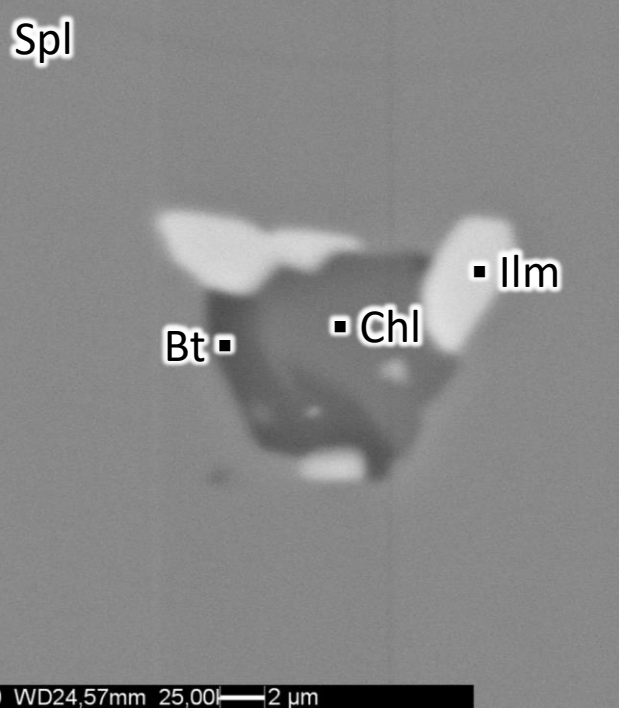


- Inclusioni in granati e spinelli
- Distribuzione casuale
- Forme più irregolari

BPA-014-UU



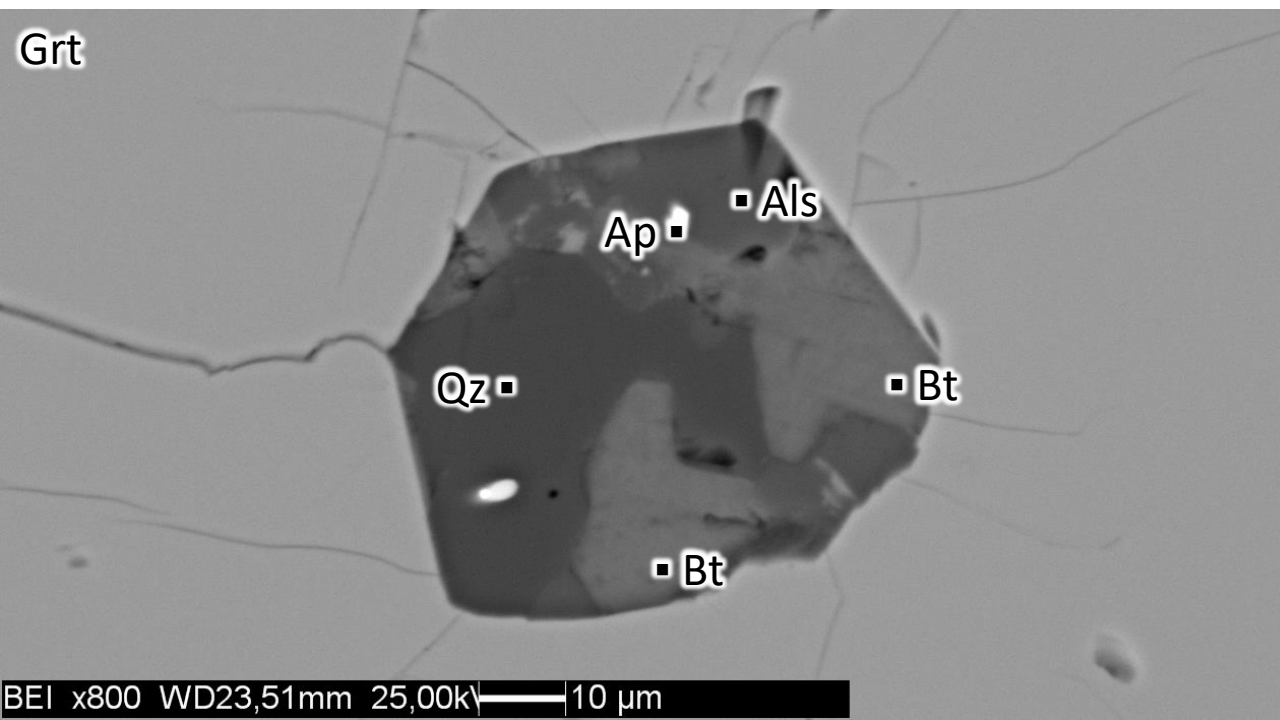
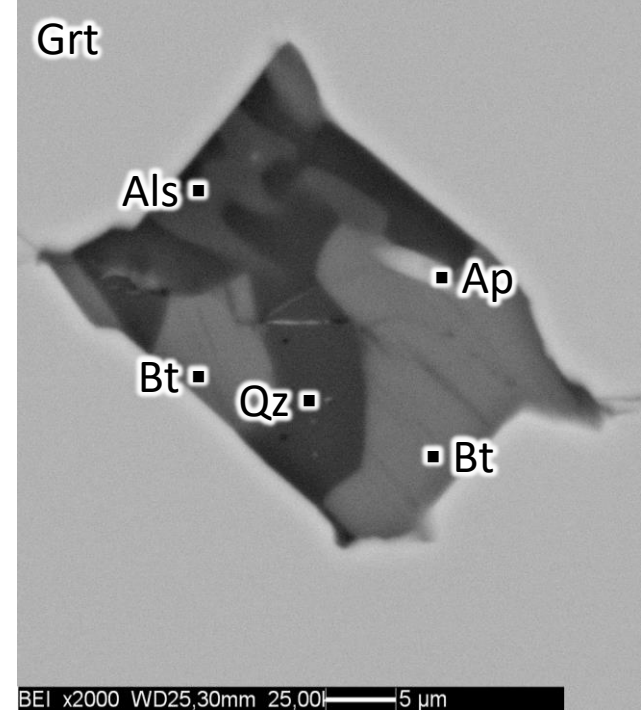
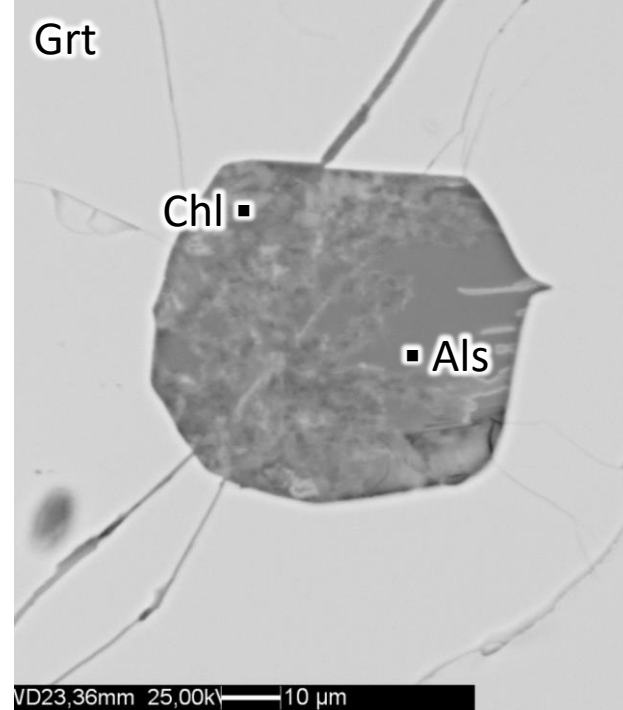
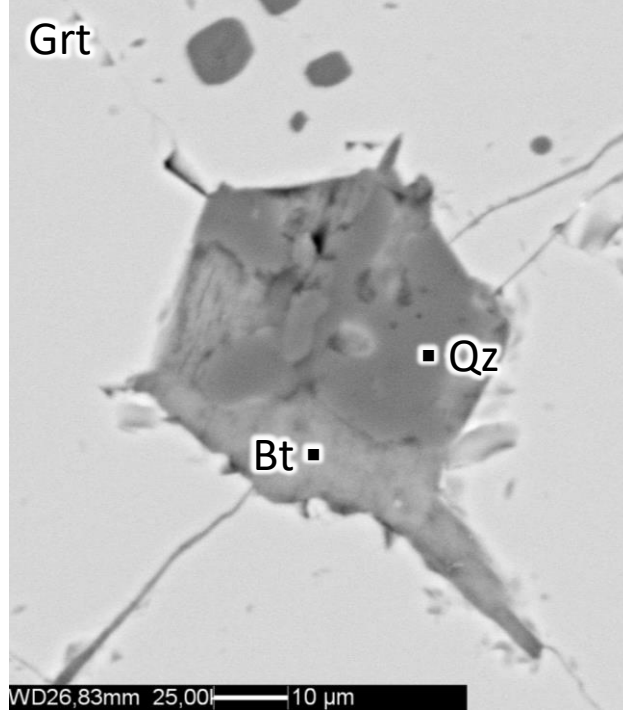
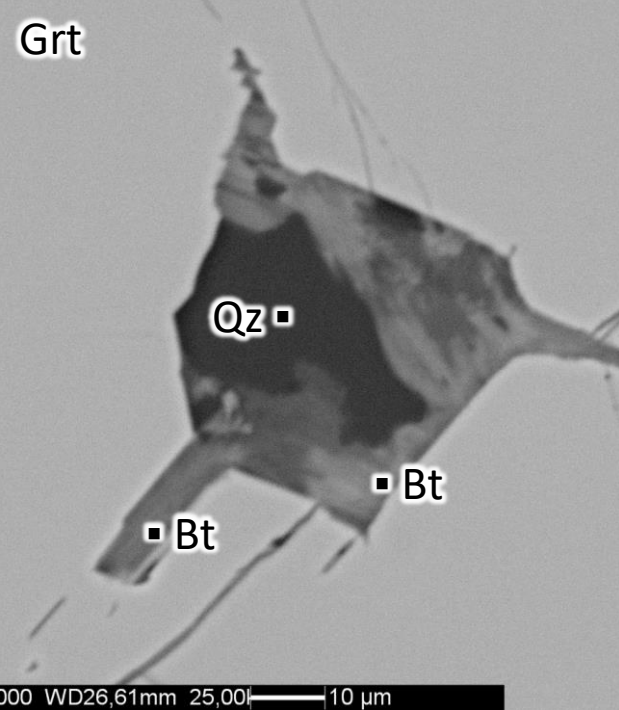
- Inclusioni in granati
- Distribuzione associata a zone con più inclusioni di minerali
- Forme più regolari



Inclusioni negli spinelli dell'incluso granulitico (BPA-018-11A)

- Quarzo (Qz)
- Biotite (Bt)
- Ilmenite (Ilm)
- Clorite (Chl)
- Silicati di alluminio (Als)

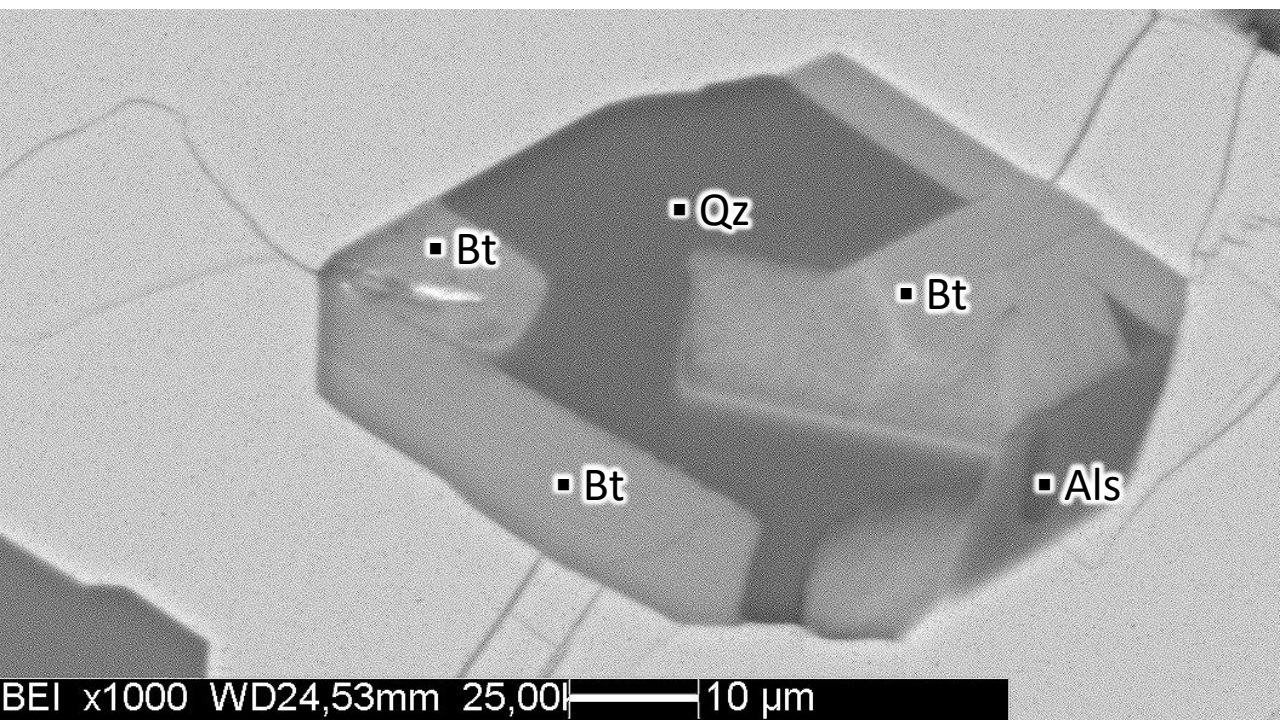
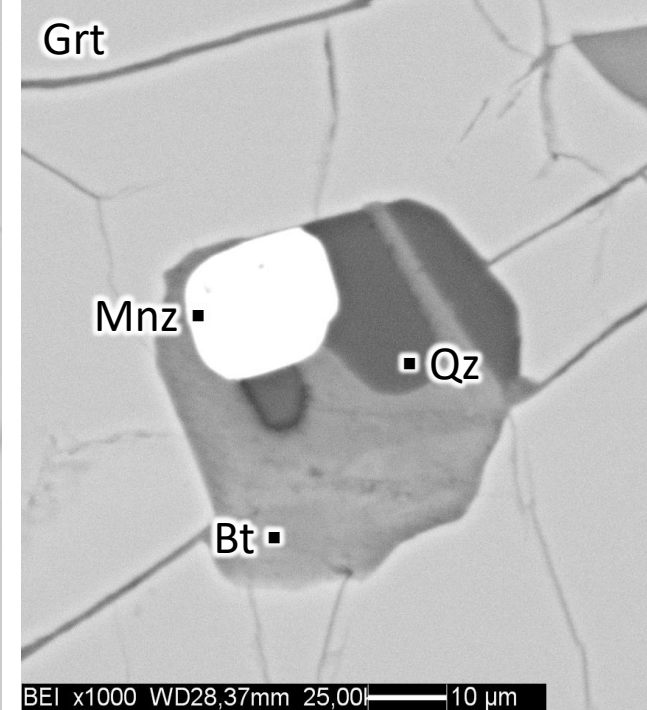
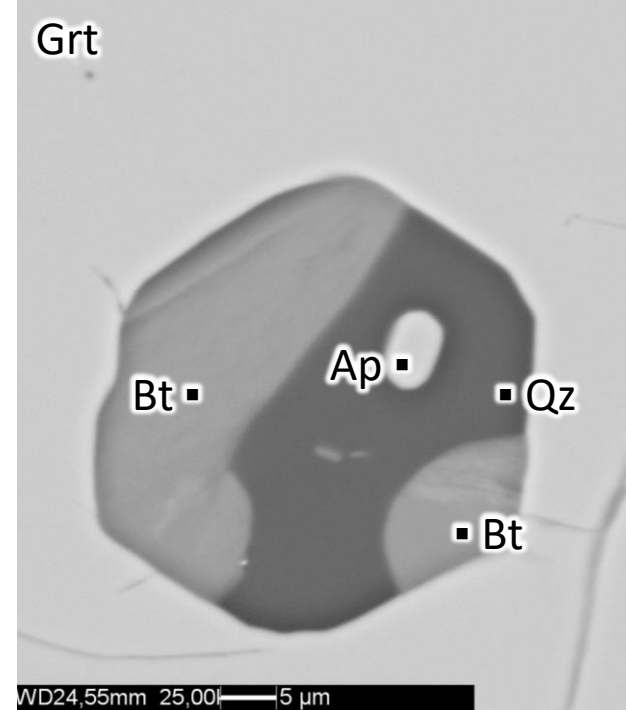
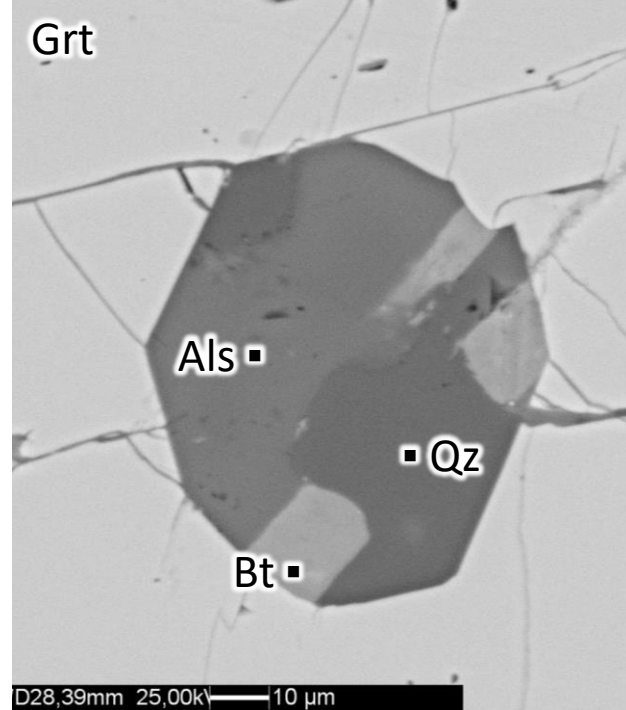
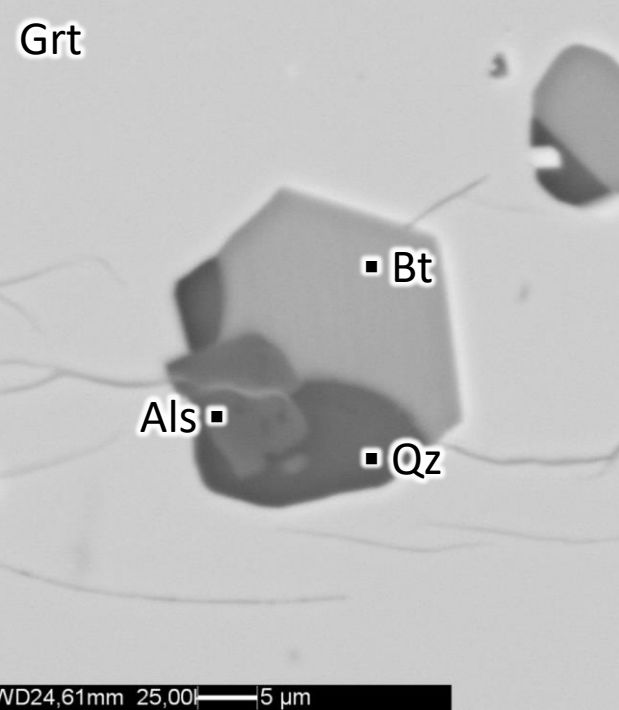
- Nanogranitoidi
- Spinello + Quarzo → UHT ?



Inclusioni nei granati dell'incluso granulitico (BPA-018-11A)

- Quarzo (Qz)
- Biotite (Bt)
- Apatite (Ap)
- Silicati di alluminio (Als)
- Clorite (Chl)

➤ Nanogranitoidi



Inclusioni nei granati della migmatite (BPA-014-UU)

- Quarzo (Qz)
- Biotite (Bt)
- Apatite (Ap)
- Ilmenite (Ilm)
- Silicati di alluminio (Als)
- Clorite (Chl)

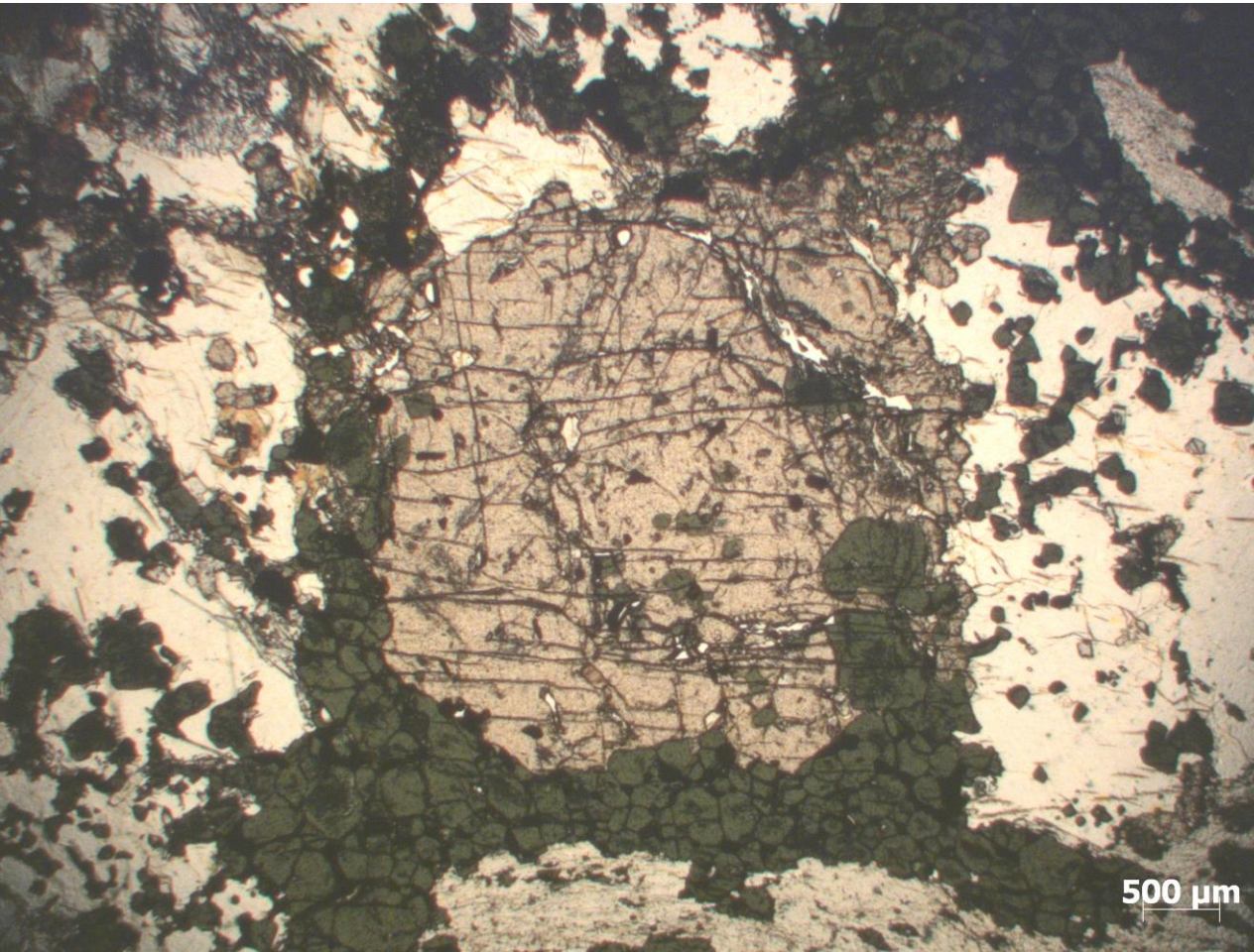
- Grafite (Gr)
- Rutilo (Ru)
- Monazite (Mnz)
- Zirconio (Zrn)

} Fasi intrappolate

➤ Nanogranitoidi

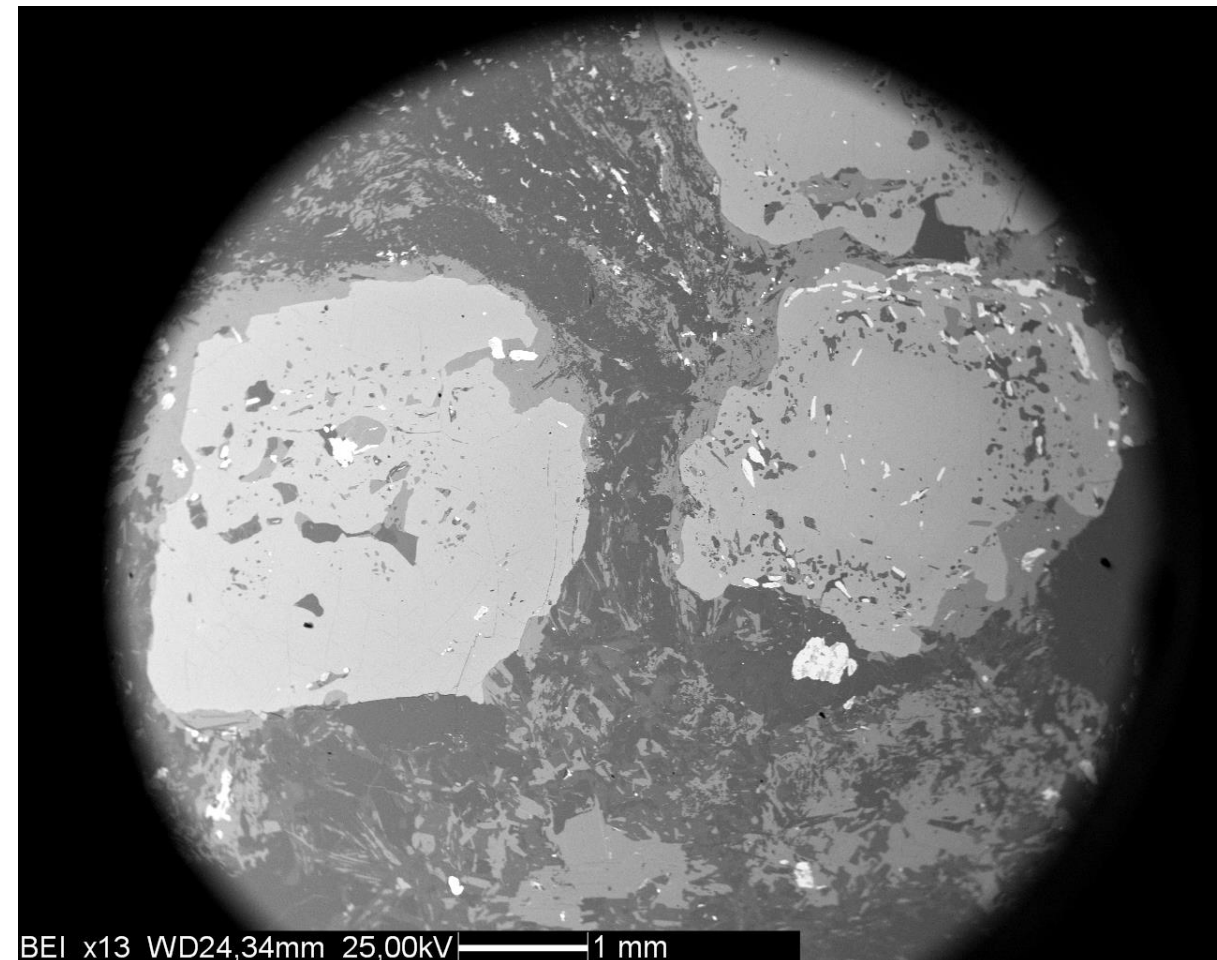
Analisi con microsonda elettronica

BPA-018-11A



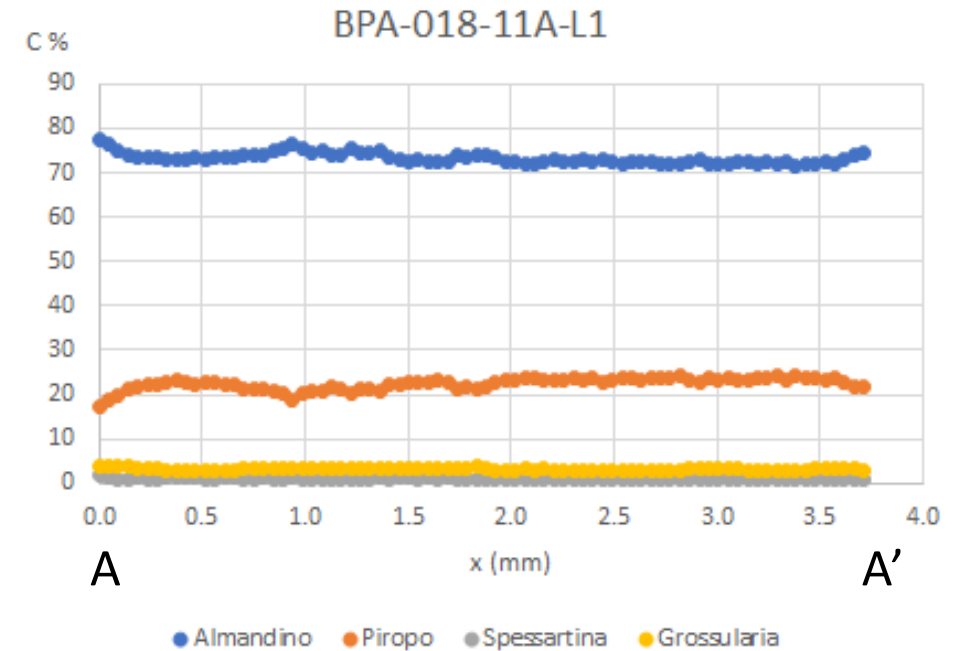
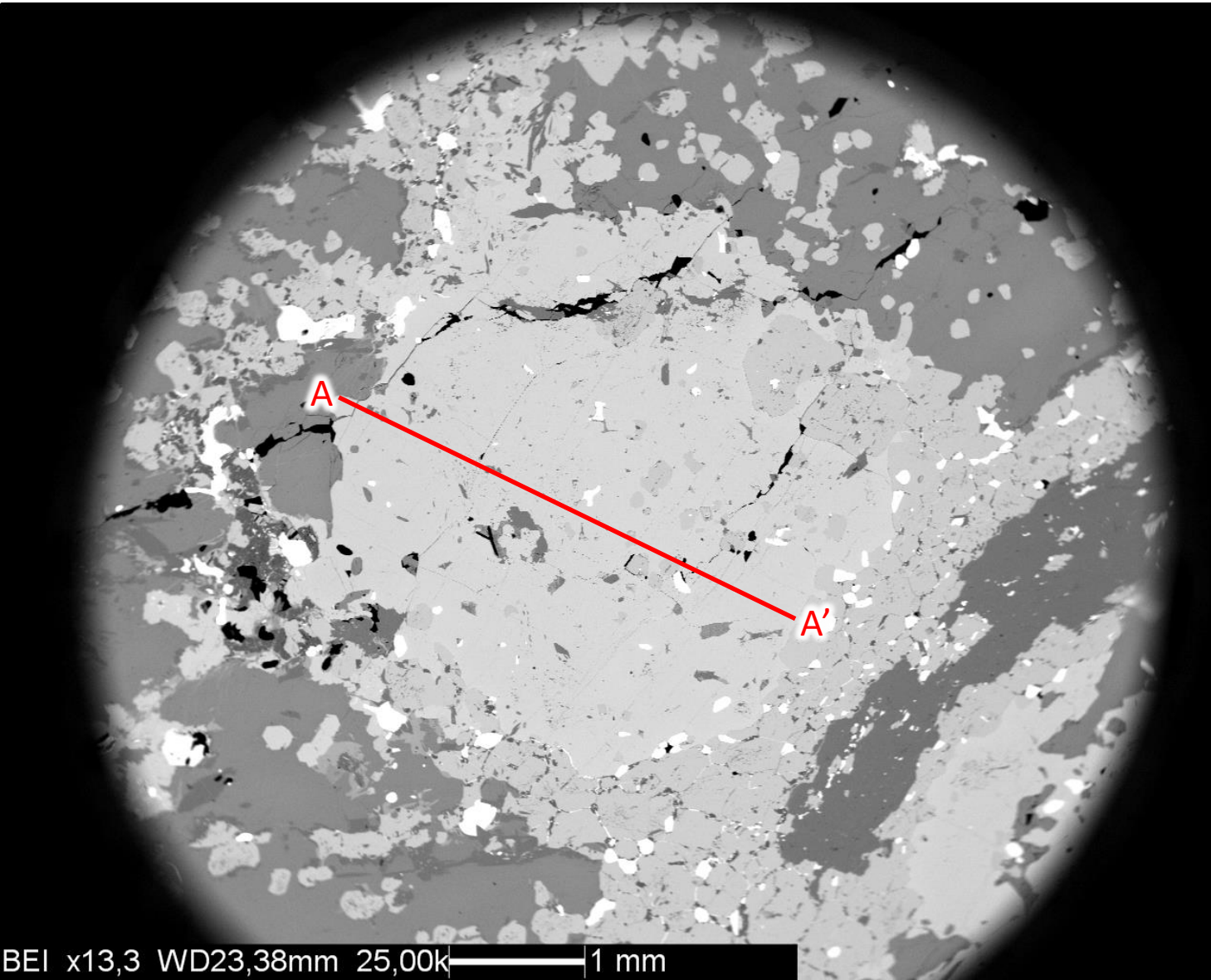
- Ricerca di eventuali zonature composizionali nei granati
- Analisi chimica puntuale degli spinelli

BPA-014-UU



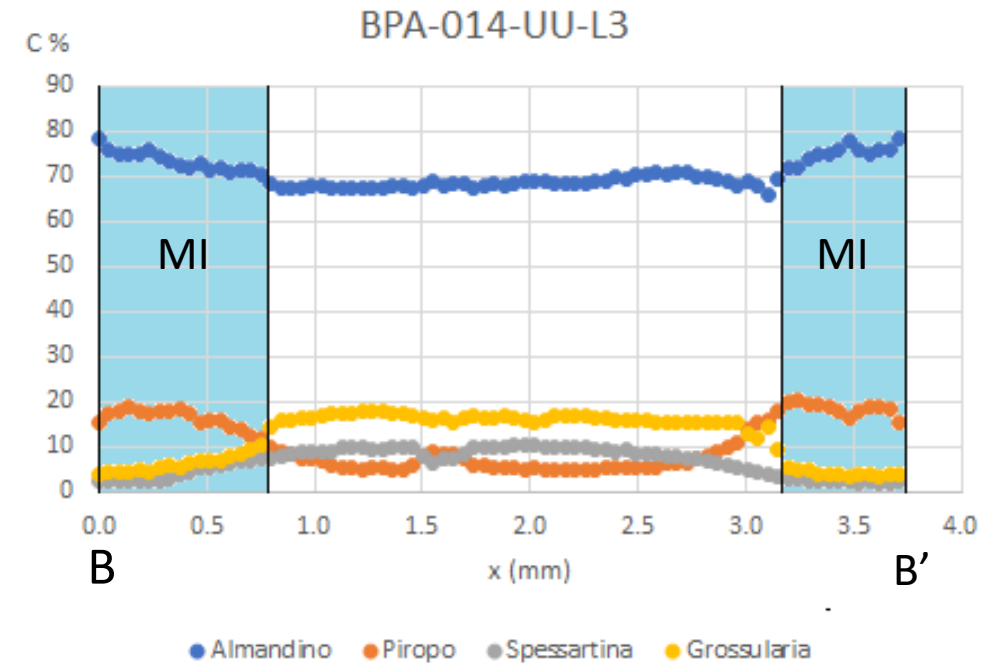
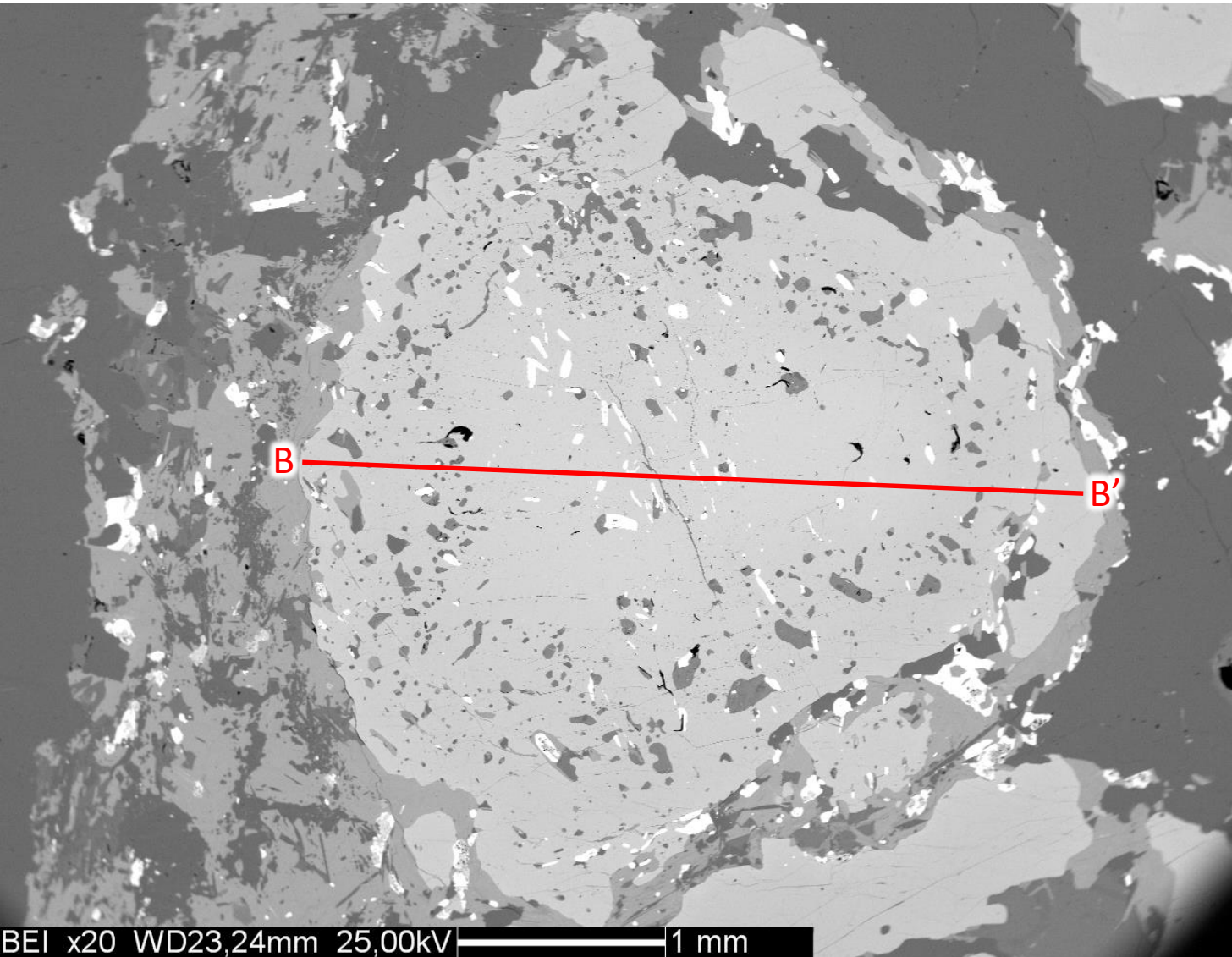
- Verifica della zonatura composizionale dei granati

Transetto composizionale: BPA-018-11A



- Granato non zonato: profilo piatto al centro
- Variazione composizionale al rim:
 - Aumento di almandino (Fe)
 - Diminuzione di piropo (Mg)

Transetto composizionale: BPA-014-UU



➤ Granato zonato:

- Nucleo: maggior contenuto di grossularia (Ca) e spessartina (Mn), minore presenza di almandino (Fe) e piropo (Mg)
- Rim con MI: aumento di almandino e piropo, diminuzione spessartina e grossularia
- Rim più esterno: aumento di almandino e diminuzione di piropo

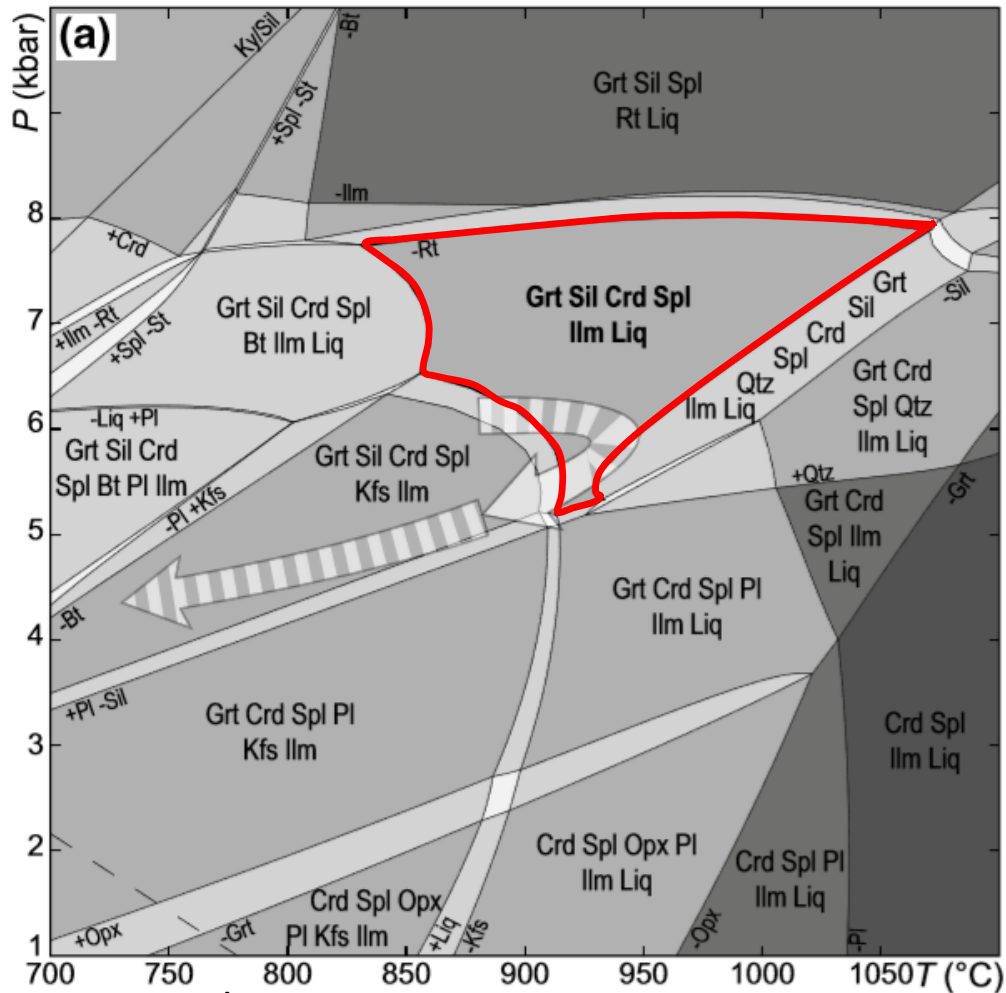
Analisi chimica degli spinelli: BPA-018-11A

| | Spinello 1 | Spinello 2 | Spinello 3 | Spinello 4 | Spinello 5 | Spinello 6 |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| MgO | 5.61 | 5.66 | 5.76 | 5.77 | 5.73 | 5.77 |
| Al ₂ O ₃ | 59.43 | 60.31 | 60.49 | 60.27 | 60.11 | 60.21 |
| SiO ₂ | 0.00 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.03 | 0.04 |
| CaO | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| TiO ₂ | 0.00 | 0.04 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.15 | 0.07 | 0.07 | 0.13 | 0.04 | 0.03 |
| MnO | 0.05 | 0.03 | 0.09 | 0.03 | 0.05 | 0.03 |
| FeO | 33.68 | 34.11 | 33.62 | 33.67 | 33.71 | 33.62 |
| ZnO | 0.90 | 0.78 | 0.66 | 0.74 | 0.84 | 0.86 |
| Totale | 99.82 | 101.03 | 100.77 | 100.64 | 100.51 | 100.56 |
| X _{Mg} | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.23 |

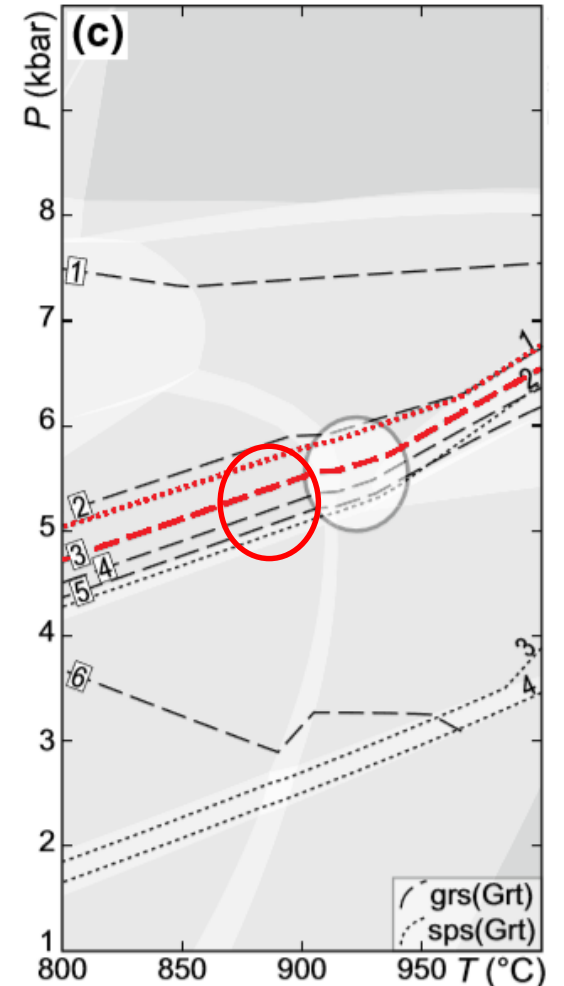
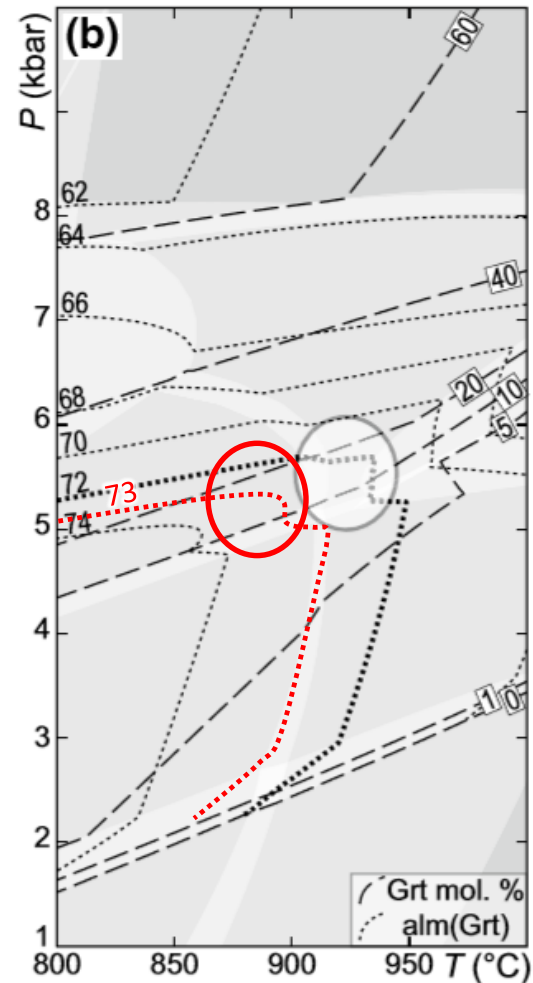
- Spinello di tipo Ercinite
- La composizione degli spinelli è costante: $X_{Mg}=0.23$
- Basso contenuto di zinco (ZnO < 0.9 wt%) \longrightarrow consistente con UHT (T>900°C)

Pseudosezioni: BPA-018-11A

- Utilizzo di pseudosezioni delle rocce studiate (tratte da Petri et al. 2016)
- Grt-Sil-Sp-Crd-Ilm-melt
- Composizione media del granato (esclusi i rim): $\text{Alm}_{73}\text{Prp}_{23}\text{Sps}_1\text{Grs}_3$
- Formazione delle MI a circa $880^\circ\text{C}/5.2\text{ kbar}$

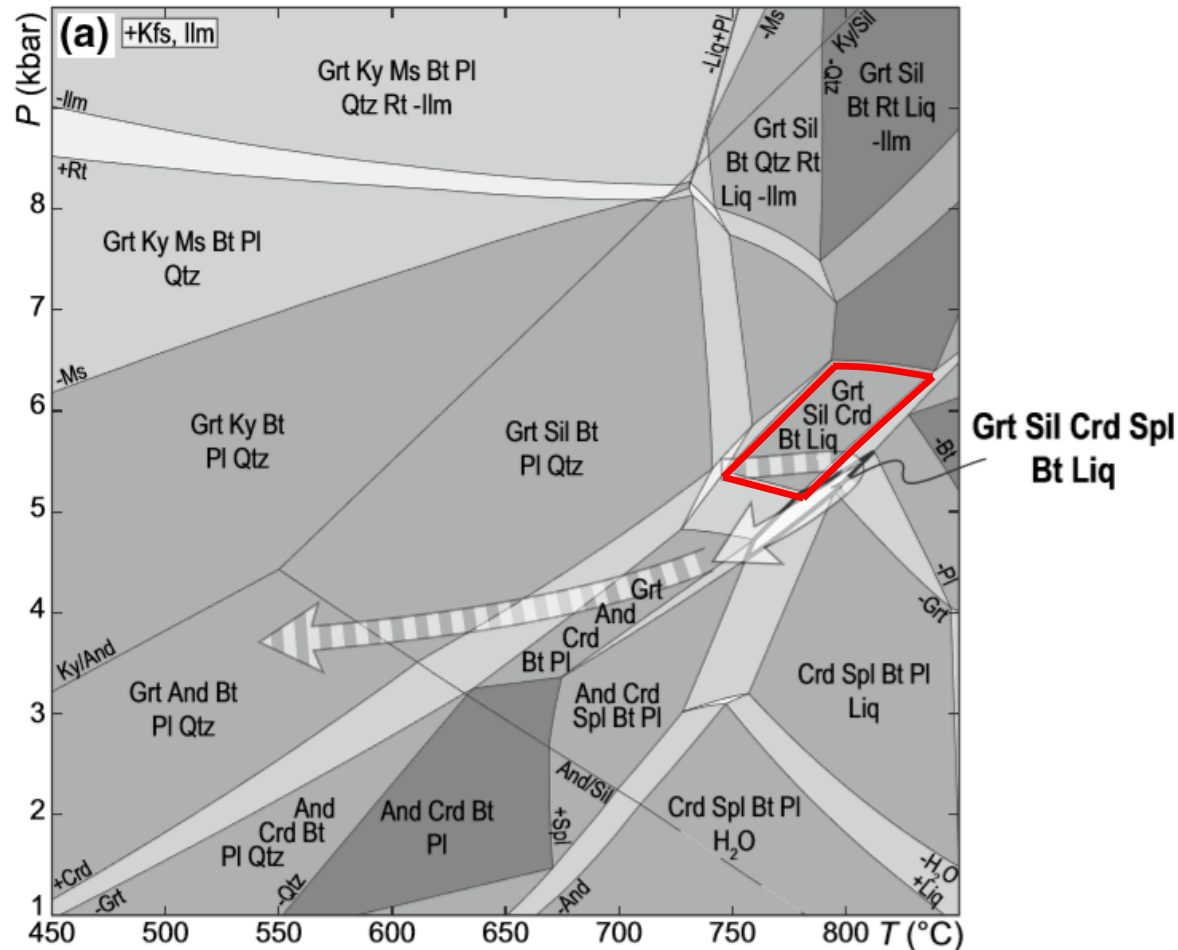


Petri et al., 2016

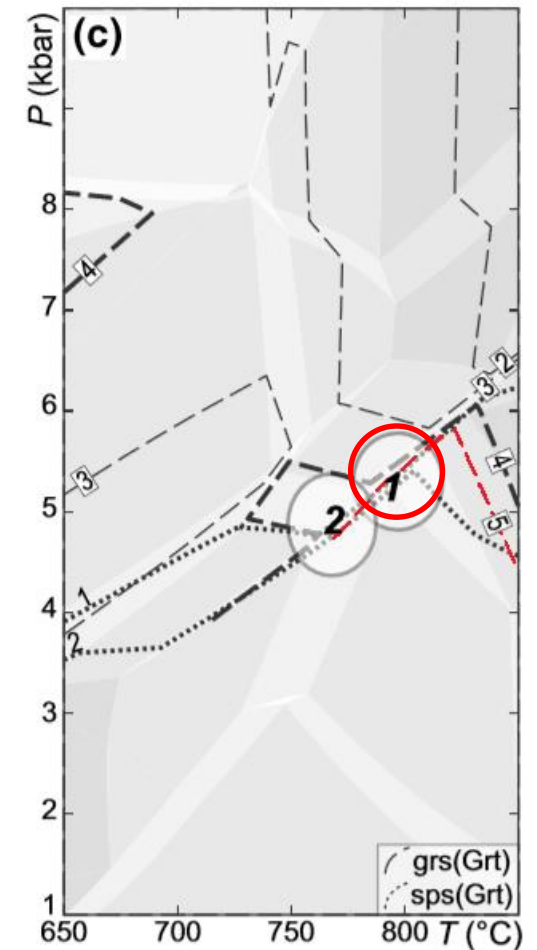
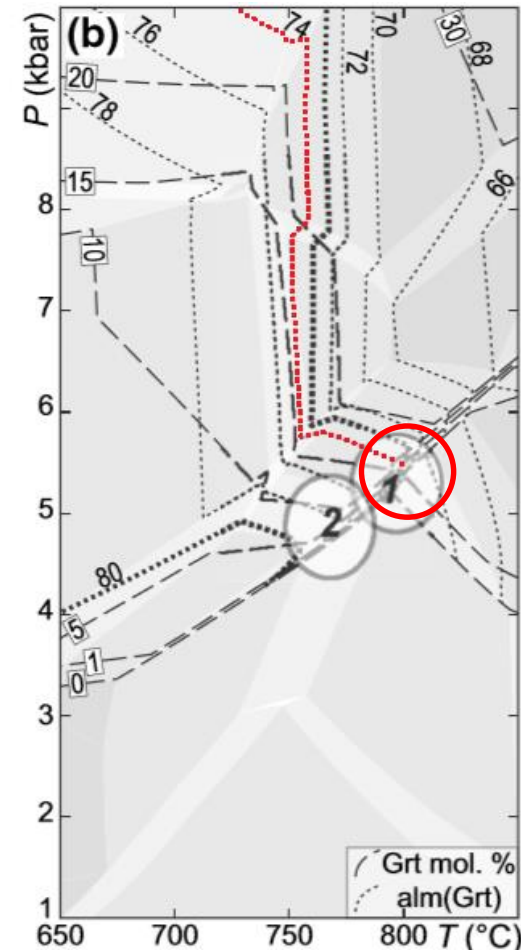


Pseudosezioni: BPA-014-UU

- Utilizzo di pseudosezioni delle rocce studiate (tratte da Petri et al., 2016)
- Grt-Sil-Crd-Bt-Ilm-Kfs-melt
- Composizione media del granato nella zona con MI: $\text{Alm}_{74}\text{Prp}_{17}\text{Sps}_4\text{Grs}_5$
- Formazione delle MI a circa 800°C/5.5 kbar

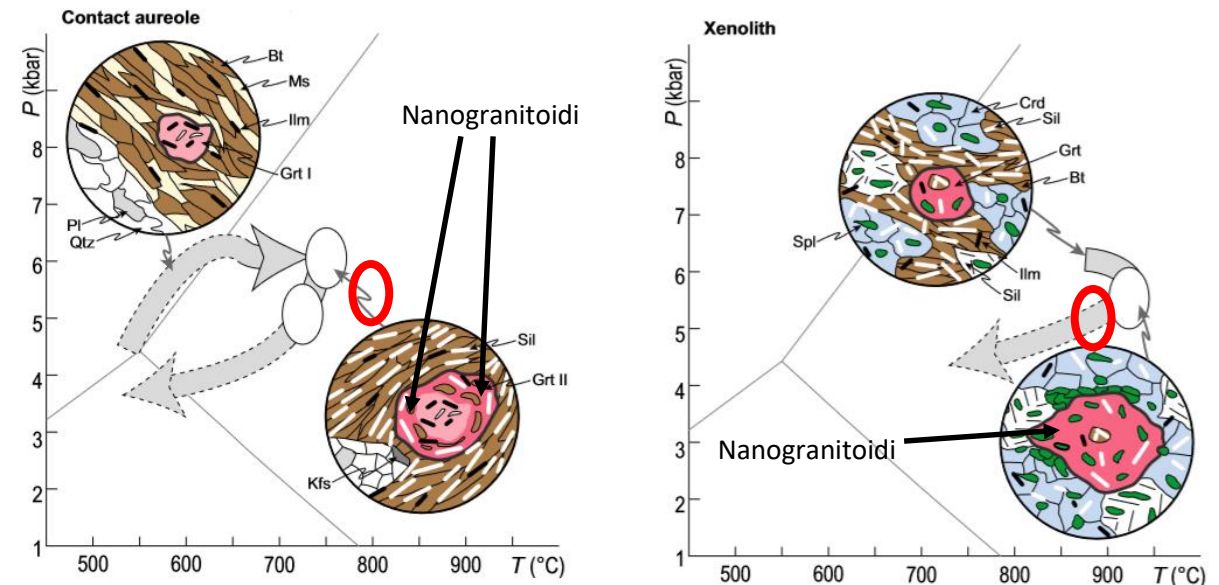


Petri et al., 2016



Conclusioni

- Inclusioni di fuso silicatico trovate nei campioni BPA-018-11A e BPA-014-UU
- Le MI sono primarie e totalmente cristallizzate (nanogranitoidi)
- Trovata l'associazione Spinello+Quarzo (nel campione BPA-018-11A) indicativa di UHT
- La presenza di MI è associata alla messa in posto del gabbro di Sondalo, che ha prodotto metamorfismo di alto grado e fusione delle rocce circostanti
- Le diverse temperature di formazione (≈ 800 vs $\approx 880^\circ\text{C}$), a parità di pressione, sono consistenti con le diverse posizioni strutturali delle rocce rispetto alla camera magmatica



Sviluppi futuri

➤ Ricostruire la composizione del fuso primario:

- Rifusione delle MI tramite «piston cylinder apparatus»
- Analisi composizionale delle MI riomogeneizzate (EMP, LA-ICP-MS, NanoSIMS)
- Valutazione di eventuali differenze composizionali tra i vari campioni

Bibliografia

- Petri et al., 2016. The Sondalo gabbro contact aureole (Campo unit, Eastern Alps): implications for mid-crustal mafic magma emplacement. *Contrib Mineral Petrol* (2016) 171:52
- Bartoli et al., 2016. Granitoid magmas preserved as melt inclusions in high-grade metamorphic rocks. *American Mineralogist*, Volume 101, pages 1543-1559, 2016
- Cesare et al., 2015. What can we learn from melt inclusions in migmatites and granulites? *Lithos* 239 (2015) 186–216
- Ferrero et al., 2012. Microstructures of melt inclusions in anatectic metasedimentary rocks. *J. metamorphic Geol.*, 2012, 30, 303–32