

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
DIPARTIMENTO DI GEOSCIENZE

# **Il metamorfismo di basso grado nelle metabasiti della regione di Preseli, Gales: vincoli petrologici derivati dalle associazioni mineralogiche e dalle indagini termometriche su inclusioni fluide**

Subgreenschist Facies metamorphism of metabasites from the Preseli region,  
Wales: petrological constraints from mineral assemblages and  
microthermometric investigation of fluid inclusions

Laureando: Ludovico Mascarin  
Relatore: Prof. Claudio Mazzoli

Anno accademico 2015-2016

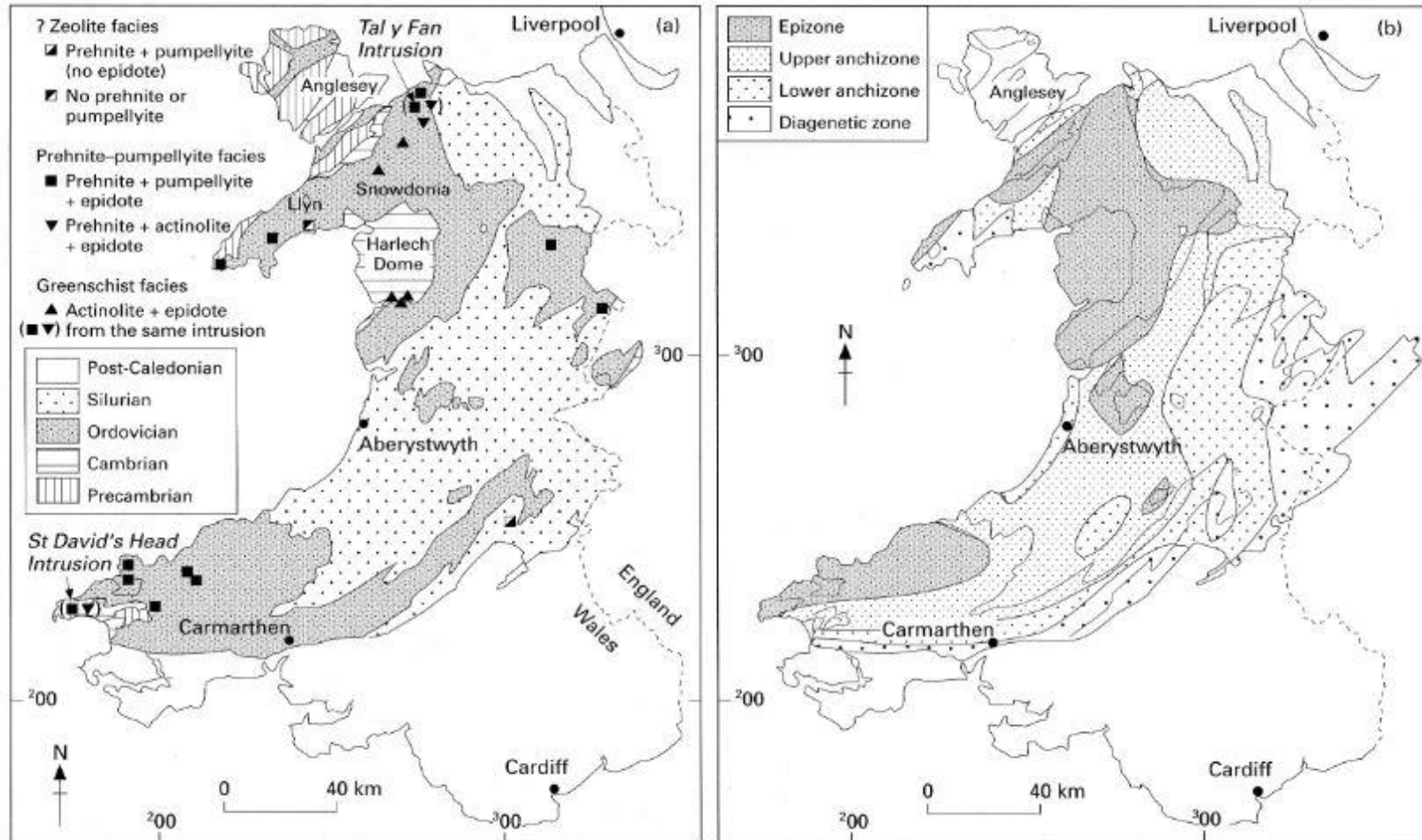
# Obiettivi

---

Determinazione delle associazioni mineralogiche in campioni di metabasiti interessate da metamorfismo di basso grado

Determinazione delle condizioni P-T del Punto Invariante (Prh-Pmp-Act-Ep-Chl) attraverso la costruzione di Pseudosezioni e l'analisi di inclusioni fluide

# Metamorfismo di Grado Molto Basso



Robinson & Bevins

Confronto tra i valori della Cristallinità dell'Illite nelle metapeliti e le Associazioni Mineralogiche delle metabasiti: **Anchimetamorfismo** in corrispondenza delle metabasiti con Prehnite-Pumpellyite-Epidoto corrispondenti alla Facies Prehnite-Pumpellyite.

# Metodologie analitiche

## Microscopio Ottico

- Identificazione delle Associazioni mineralogiche
- Identificazione delle inclusioni fluide

## SEM

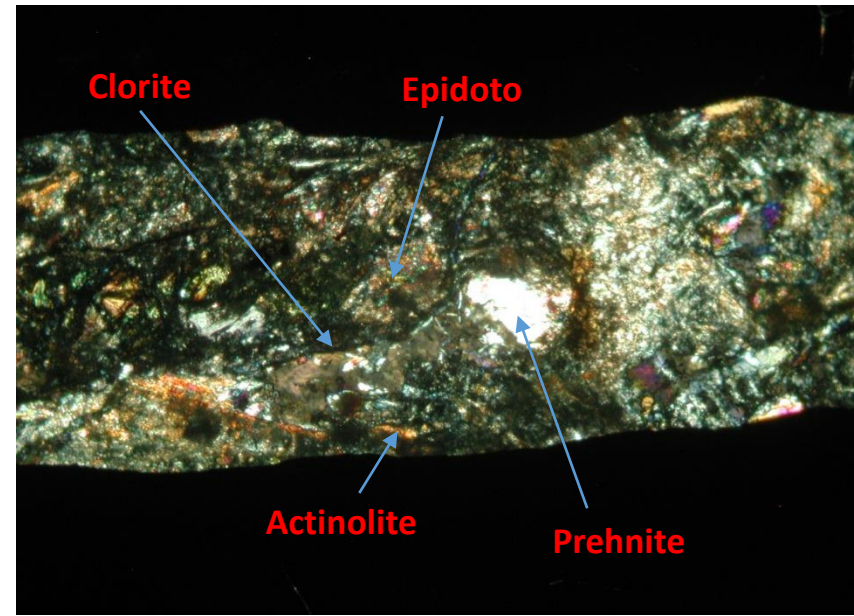
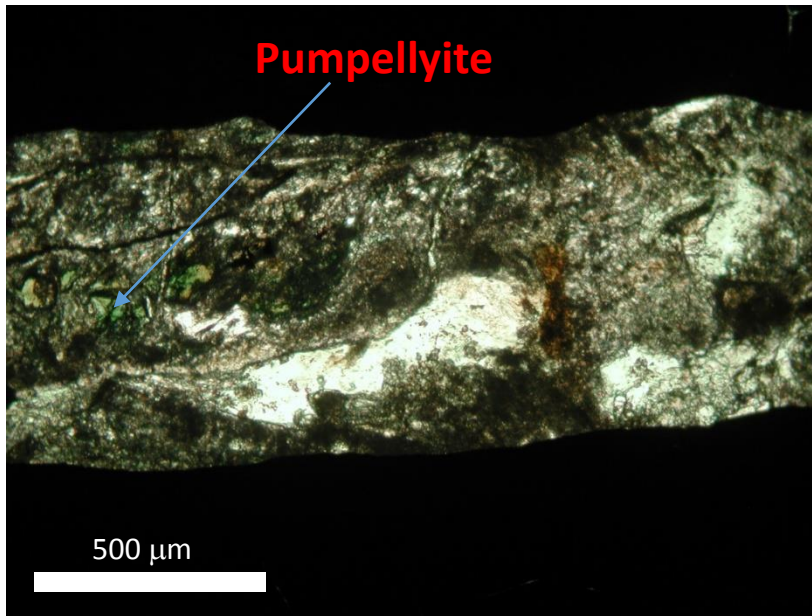
- Identificazione microstrutturale delle Associazioni mineralogiche
- Determinazione della composizione della roccia

## Spettroscopia Raman Analisi termometriche

- Determinazione della composizione delle inclusioni fluide
- Analisi delle transizioni di fase nelle inclusioni fluide al variare della temperatura

# Osservazioni al microscopio ottico

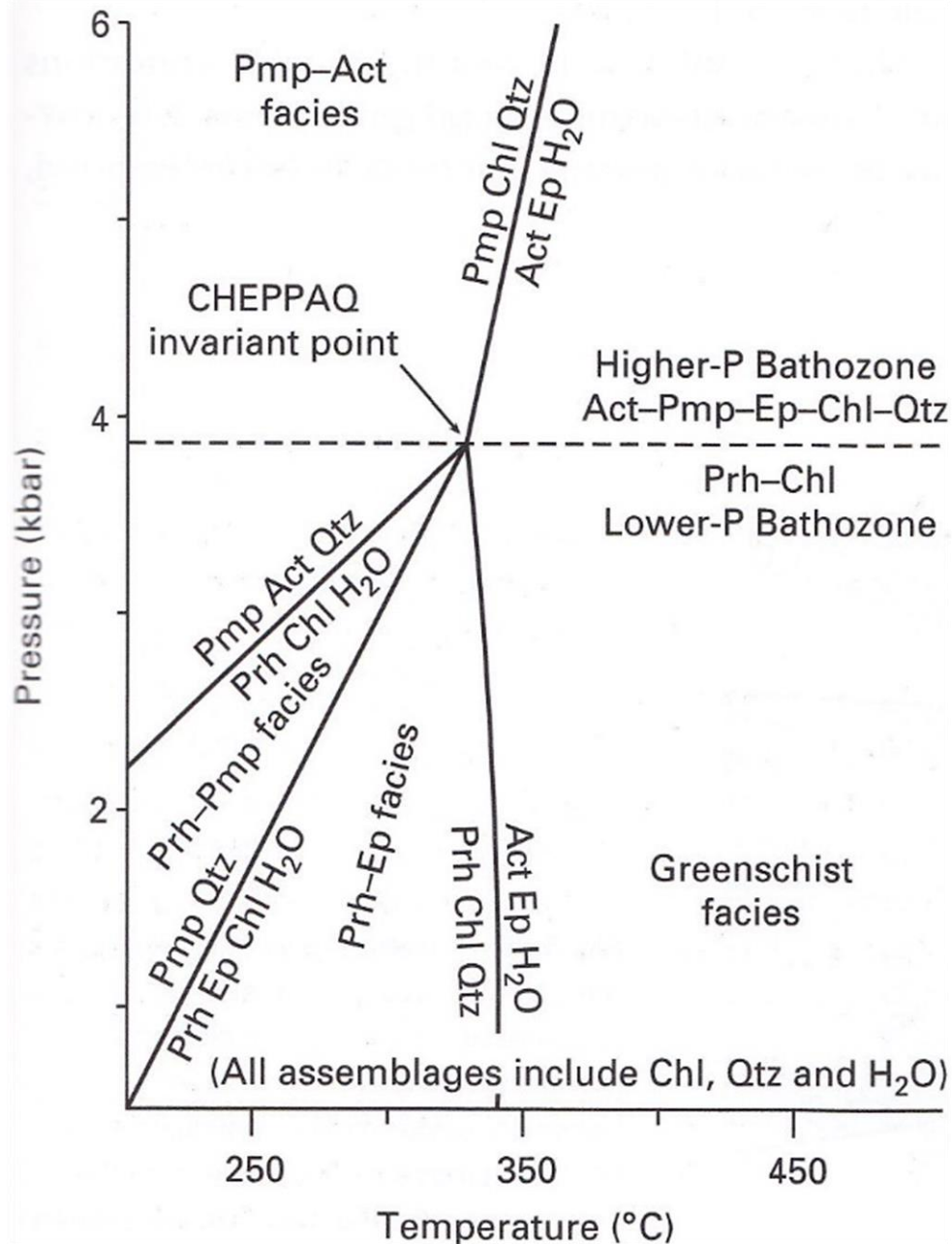
## Associazioni mineralogiche



	Abito	Colore	Rilievo	Colori di interferenza
<b>Epidoto</b>	prismatico	incolore	alto	anomali
<b>Actinolite</b>	prismatico	incolore	medio	2° ordine
<b>Pumpellyite</b>	prismatico	verde intenso	medio	anomali (verde-blu)
<b>Prehnite</b>	tabulare	incolore	medio-basso	2° ordine
<b>Clorite</b>	tabulare	verde	basso	anomali



# Associazione contenente il Punto Invariante

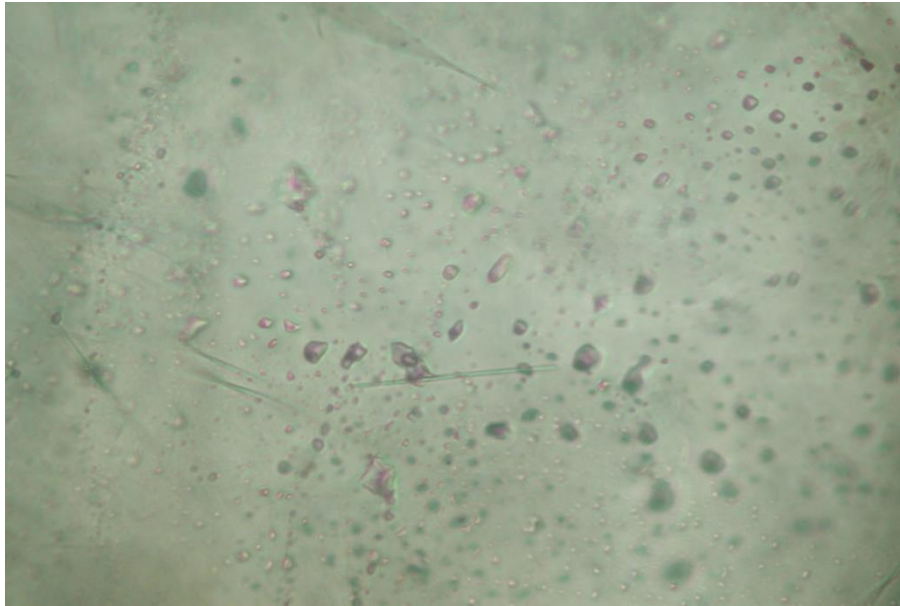


Griglia petrogenetica determinata per metabasiti di basso grado nel sistema CMASH, proiettato da Chl, Qtz, H<sub>2</sub>O: Chl- H<sub>2</sub>O-Ep-Prh-Pmp-Act-Qtz (CHEPPAQ)

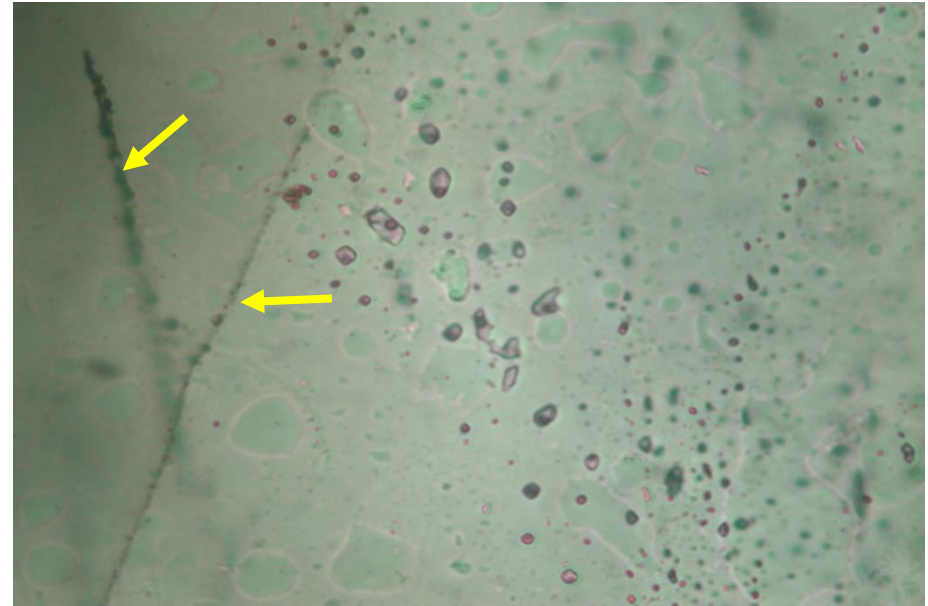
Powell et al., 1993

# Osservazioni al microscopio ottico

## Inclusioni fluide



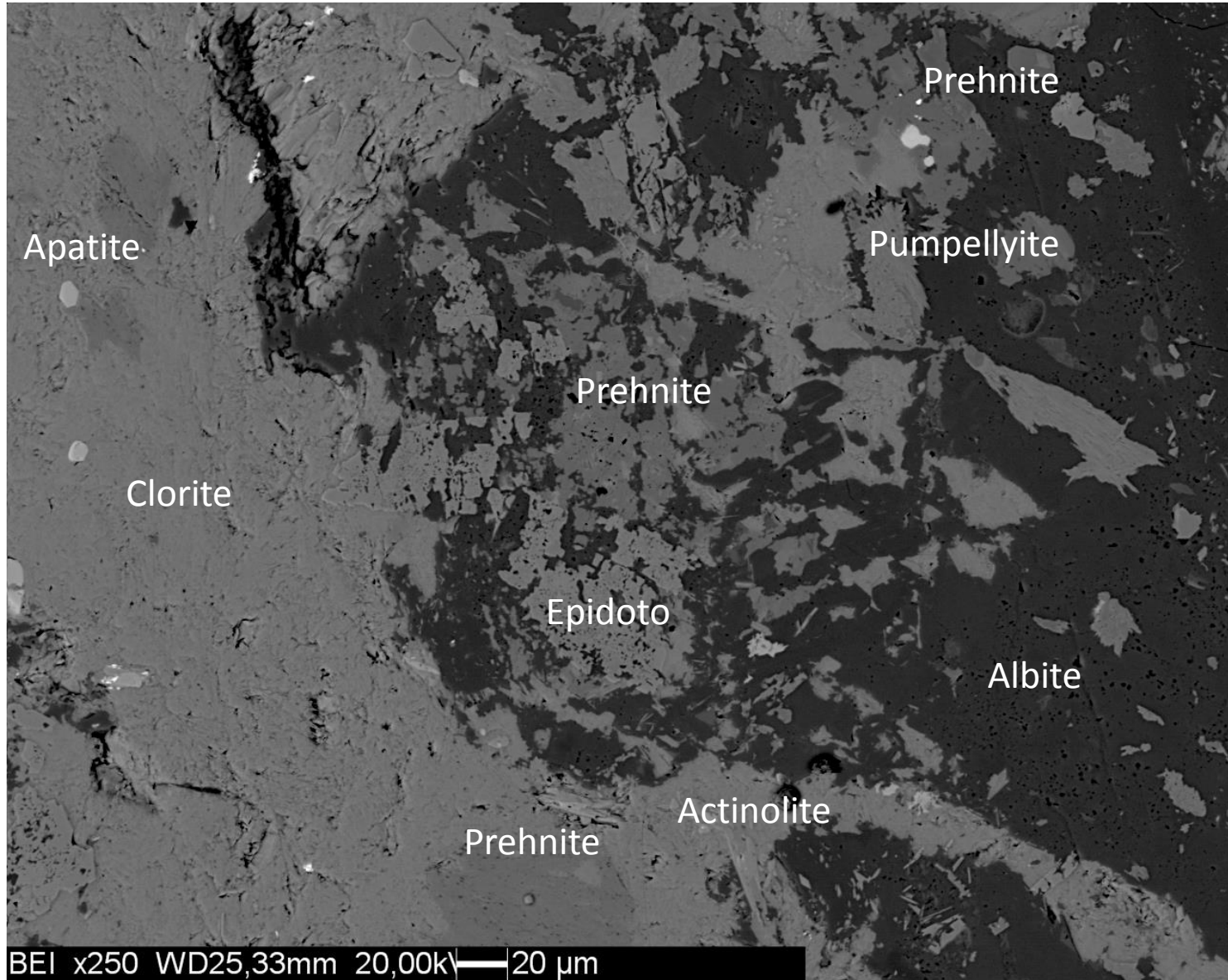
**Inclusioni Primarie**



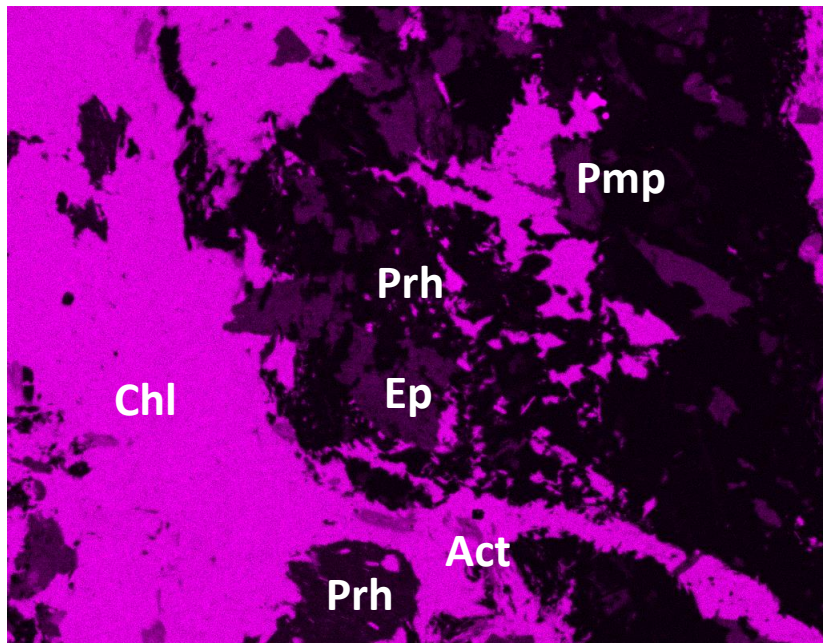
**Inclusioni Secondarie lungo  
fratture**

# Osservazioni al SEM

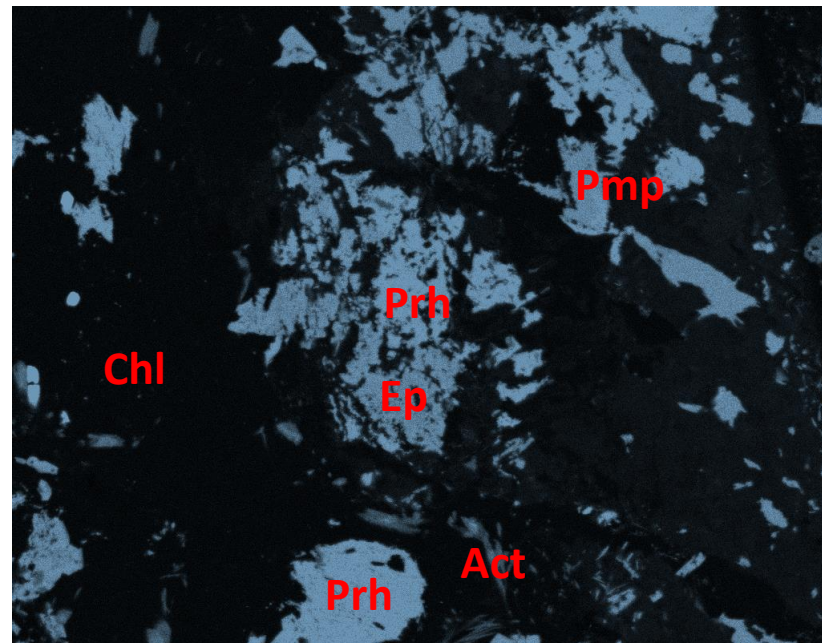
## Associazioni mineralogiche



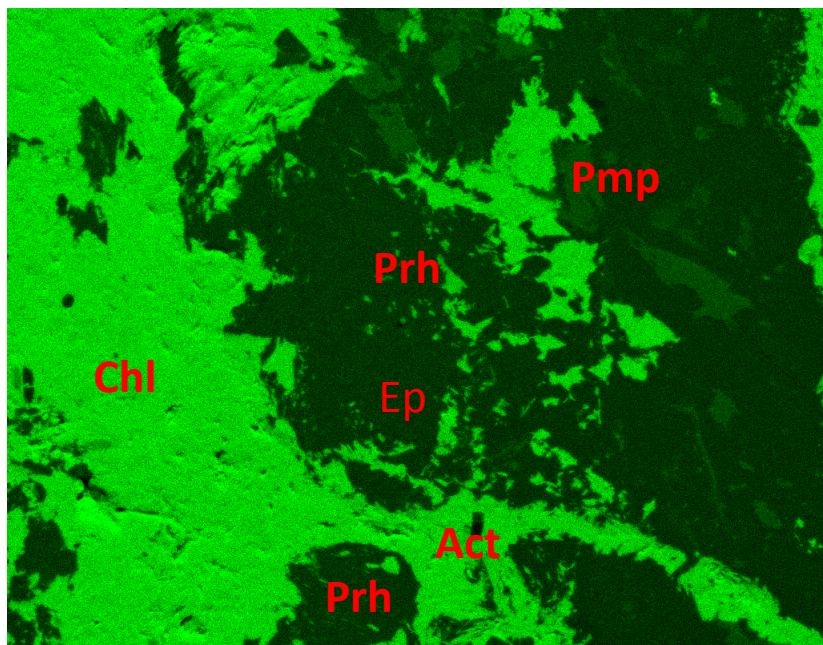




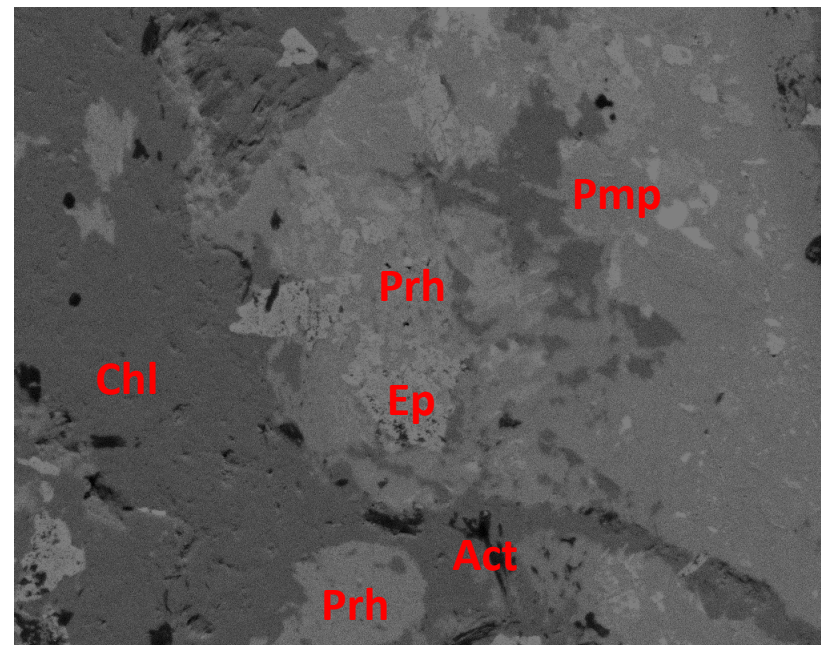
Mappa Compositzionale Fe



Mappa Compositzionale Ca

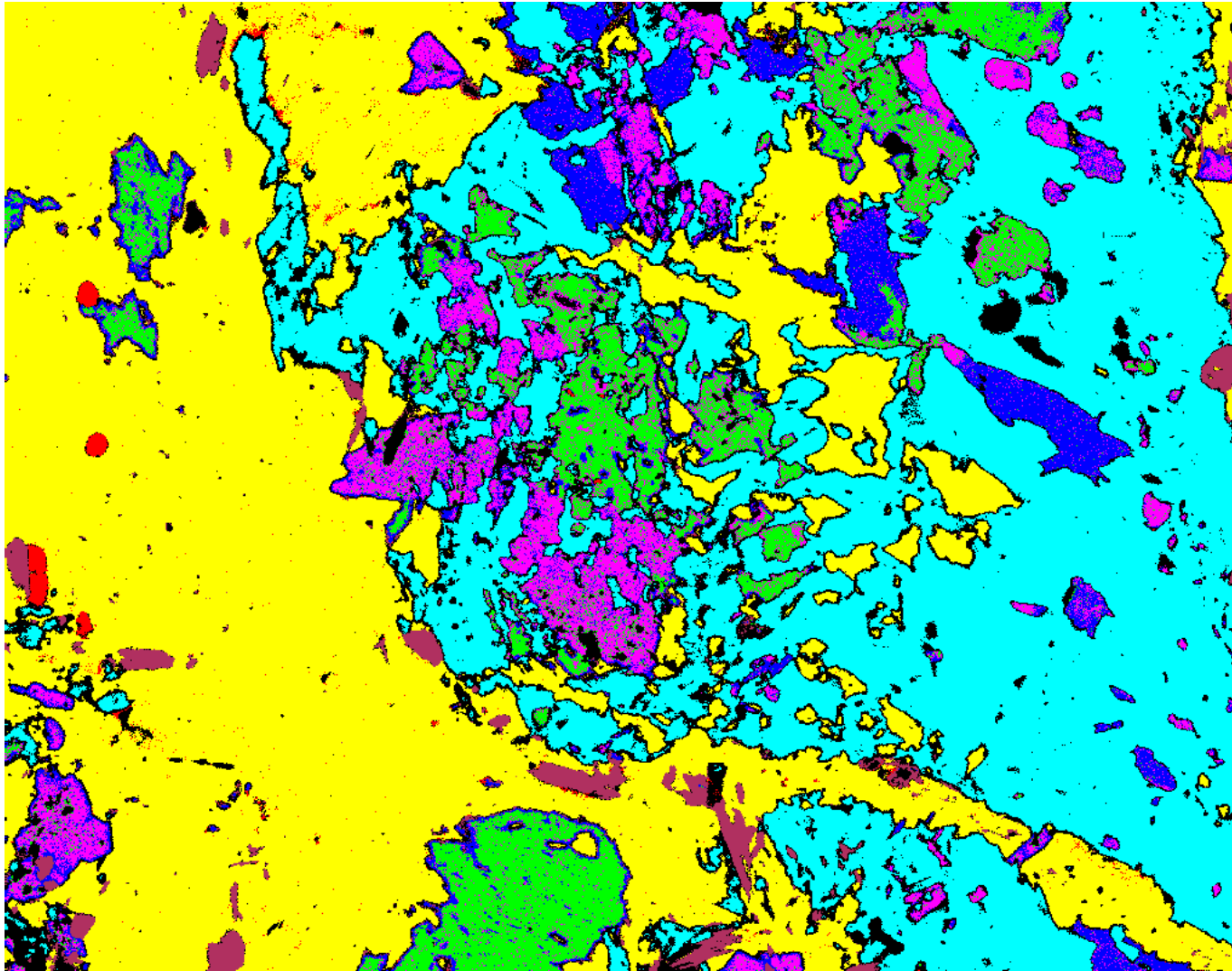


Mappa Compositzionale Mg



Mappa Compositzionale Al

# Mappa della Distribuzione delle Fasi



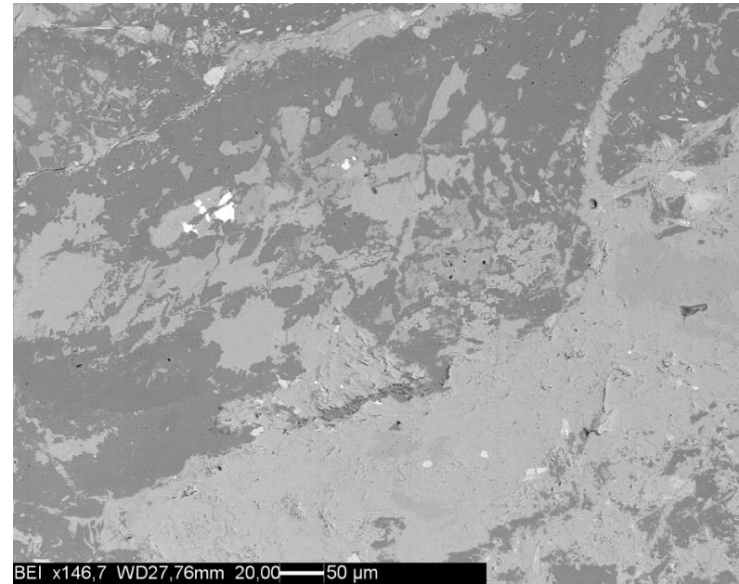
Elementi chimici considerati: Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Si, S, Ti



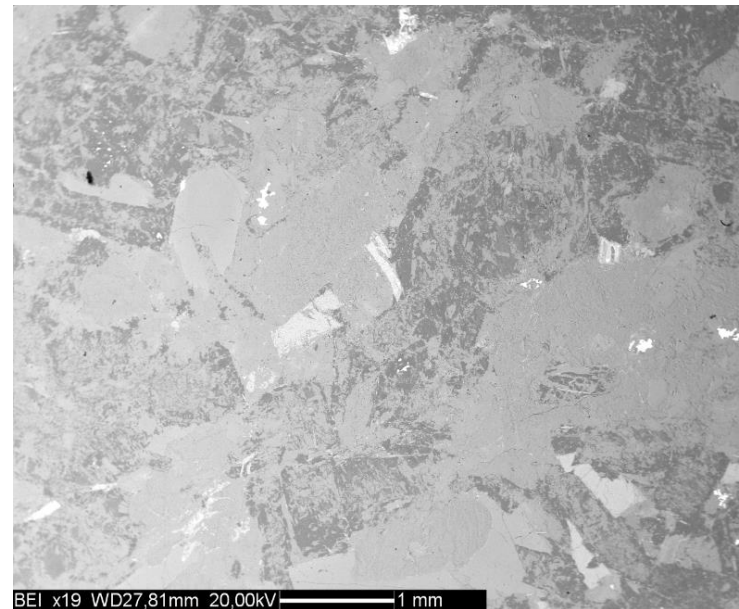
# Osservazioni al SEM

## Composizione della roccia

	Composizione 1
Na <sub>2</sub> O	4.26
MgO	4.52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.13
SiO <sub>2</sub>	47.13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.12
K <sub>2</sub> O	0.58
CaO	6.36
TiO <sub>2</sub>	0.44
FeO	10.65
O <sub>2</sub>	0.28
H <sub>2</sub> O	6.52
	100.00

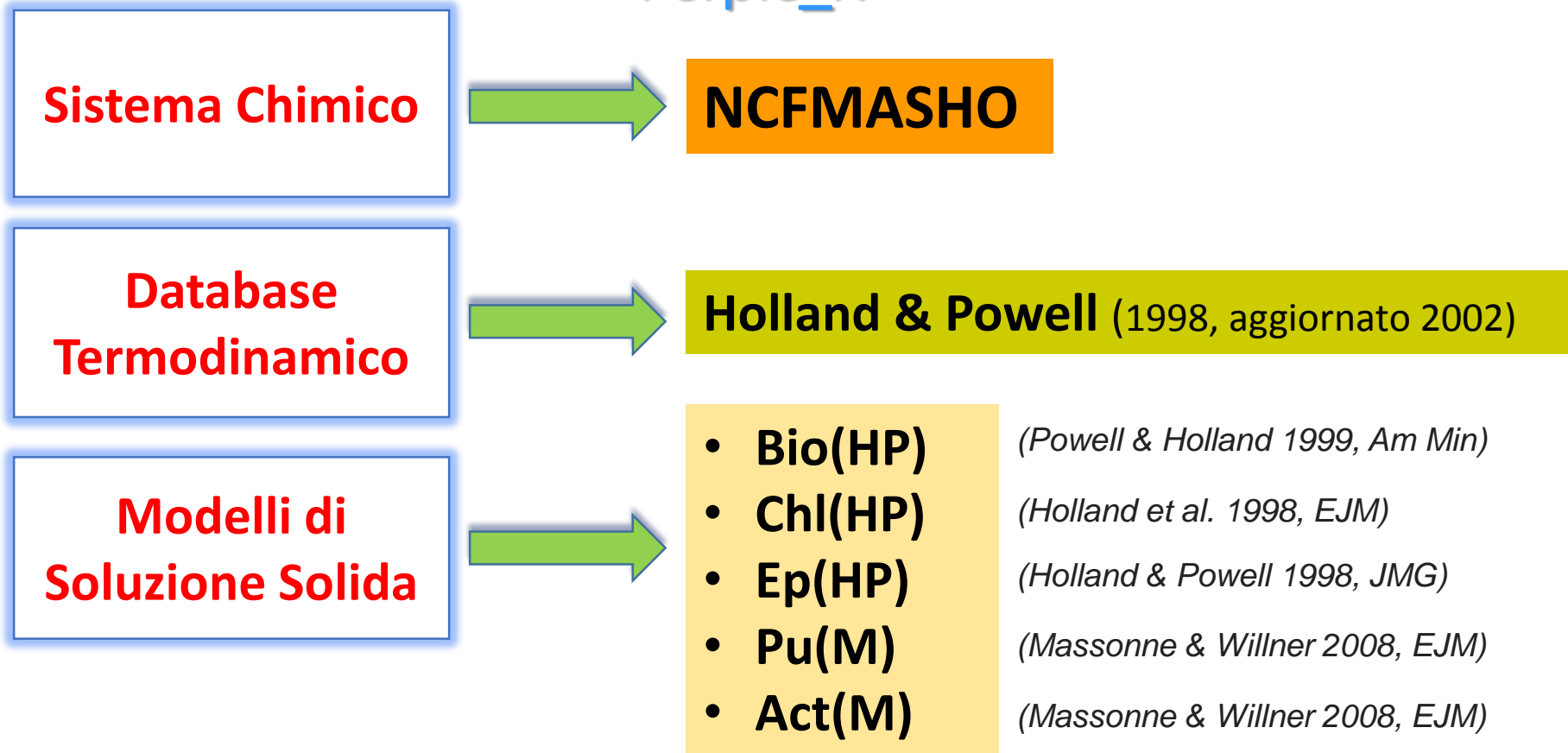


	Composizione 2
Na <sub>2</sub> O	2.5
MgO	6.64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.15
SiO <sub>2</sub>	42.04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.32
K <sub>2</sub> O	0.27
CaO	6.81
TiO <sub>2</sub>	1.11
FeO	16.35
O <sub>2</sub>	0.28
H <sub>2</sub> O	6.52
	100.00



# Costruzione delle Pseudosezioni

Perple\_X

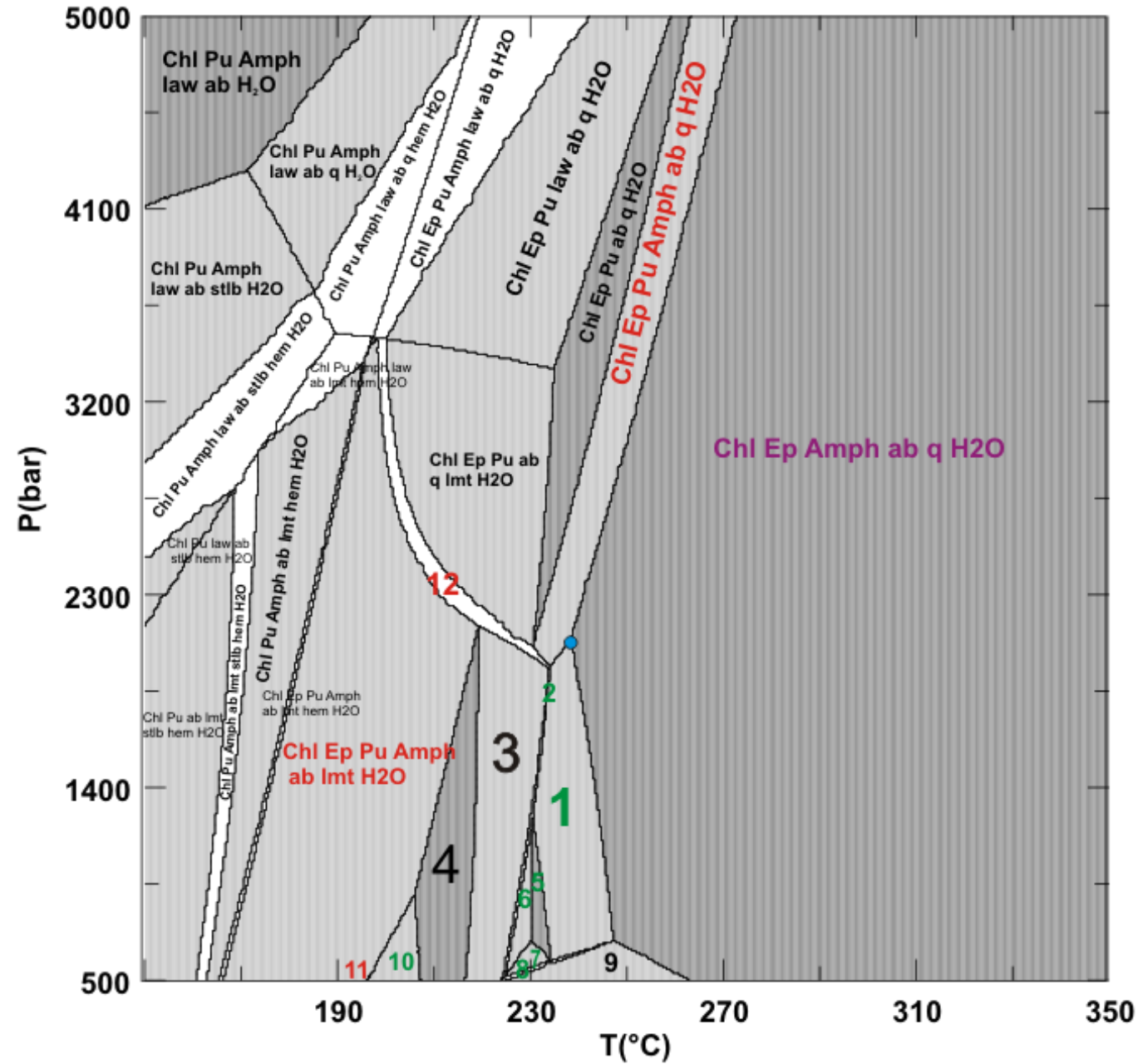


## Modello ideale di Soluzione Solida per la Pumpellyite:

- $\text{Ca}_4\text{MgAl}_5\text{Si}_6\text{O}_{21}(\text{OH})_7$  : Mg-Pumpellyite
- $\text{Ca}_4\text{Fe}^{2+}\text{Al}_5\text{Si}_6\text{O}_{21}(\text{OH})_7$  :  $\text{Fe}^{2+}$ -Pumpellyite
- $\text{Ca}_4\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{21}(\text{OH})_7$  :  $\text{Fe}^{3+}$ -Pumpellyite

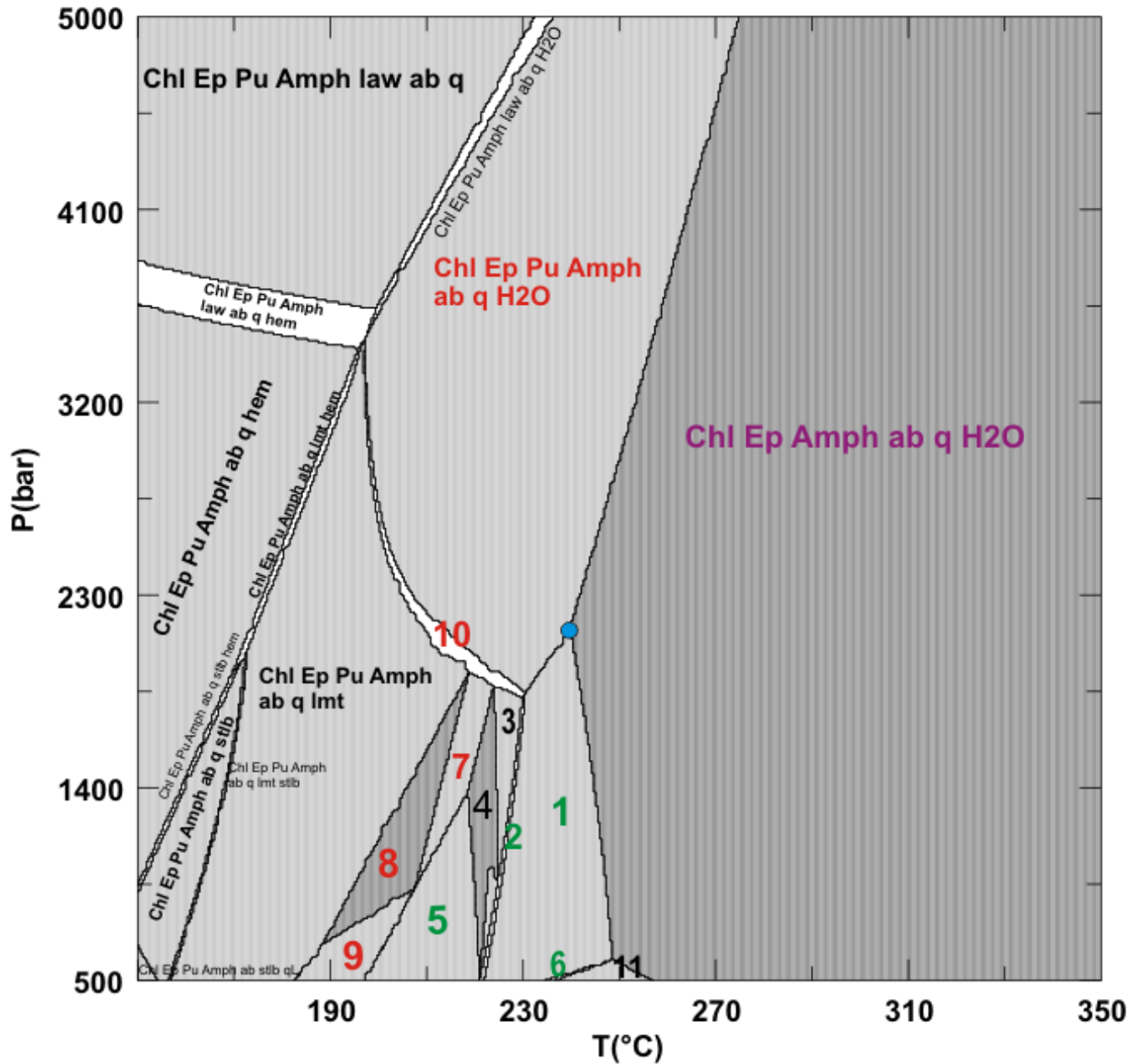


# Pseudosezione 1



- 1) Chl-Ep-Amph-pre-ab-q-H<sub>2</sub>O
- 2) Chl-Ep-Amph-pre-ab-q-lmt-H<sub>2</sub>O
- 3) Chl-Ep-Amph-ab-q-lmt-H<sub>2</sub>O
- 4) Chl-Ep-Amph-ab-lmt-H<sub>2</sub>O
- 5) Chl-Ep-pre-ab-q-H<sub>2</sub>O
- 6) Chl-Ep-pre-ab-q-lmt-H<sub>2</sub>O
- 7) Chl-Ep-pre-ab-q-wrk-H<sub>2</sub>O
- 8) Chl-Ep-Amph-pre-ab-q-wrk-H<sub>2</sub>O
- 9) Chl-Ep-Amph-ab-q-wrk-H<sub>2</sub>O
- 10) Chl-Ep-Amph-pre-ab-lmt-H<sub>2</sub>O
- 11) Chl-Ep-Pu-Amph-pre-ab-lmt-H<sub>2</sub>O
- 12) Chl-Ep-Pu-Amph-ab-q-lmt-H<sub>2</sub>O

# Pseudosezione 2



- 1) Chl-Ep-Amph-pre-ab-q-H2O
- 2) Chl-Ep-Amph-pre-ab-q-lmt-H2O
- 3) Chl-Ep-Amph-ab-q-lmt-H2O
- 4) Chl-Ep-Amph-ab-lmt-H2O
- 5) Chl-Ep-Amph-pre-ab-lmt-H2O
- 6) Chl-Ep-Amph-pre-ab-q-wrk-H2O
- 7) Chl-Ep-Pu-Amph-ab-lmt-H2O
- 8) Chl-Ep-Pu-Amph-ab-lmt
- 9) Chl-Ep-Pu-Amph-pre-ab-lmt
- 10) Chl-Ep-Pu-Amph-ab-q-lmt-H2O
- 11) Chl-Ep-Amph-ab-q-wrk-H2O

# INCLUSIONI FLUIDE

SPETTROSCOPIA  
RAMAN

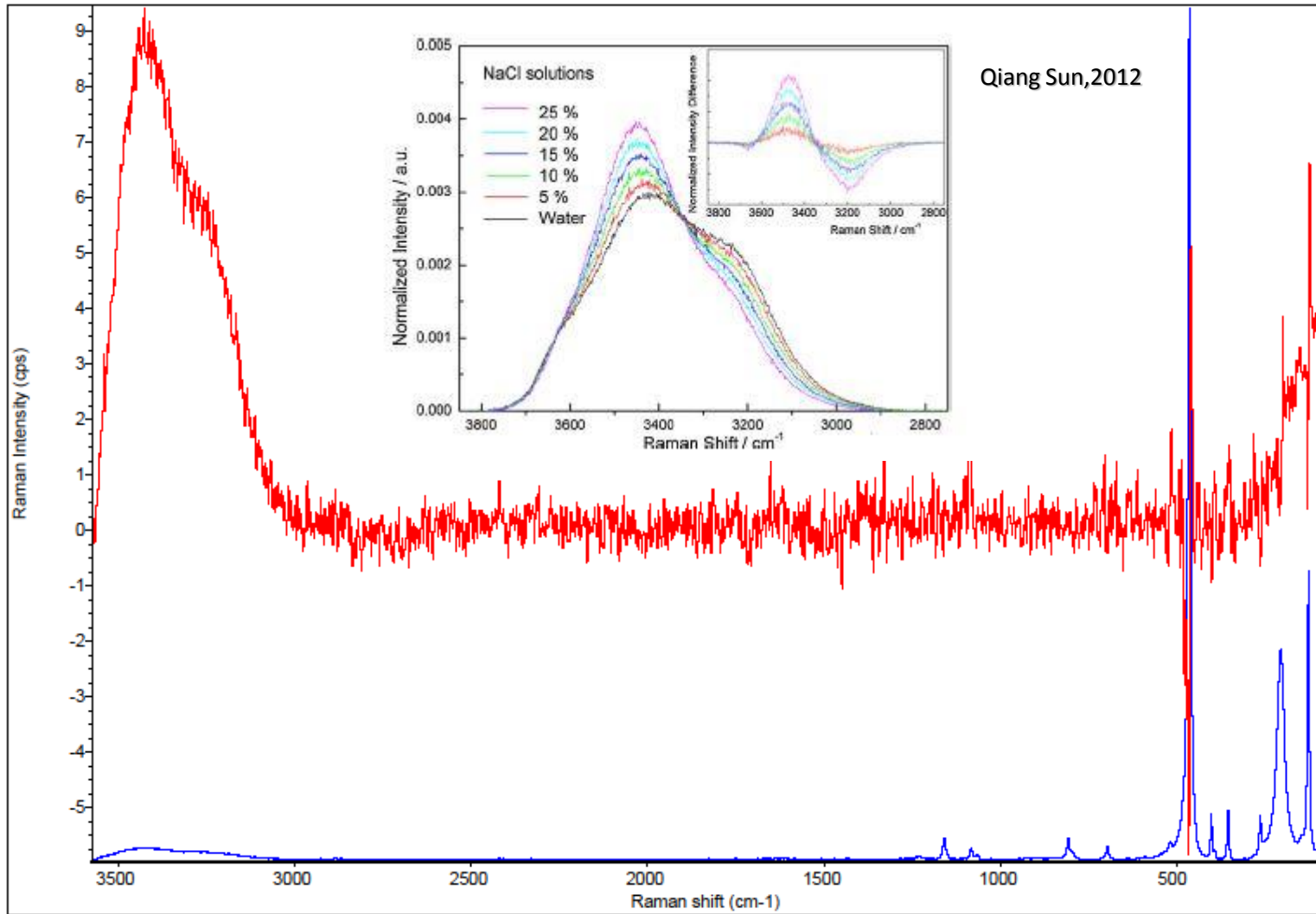
ANALISI  
TERMOMETRICA

COSTRUZIONE  
DELLE  
ISOCORE

Calibrazione con lo  
Standard dell'H<sub>2</sub>O

- Temperatura di Fusione della fase solida (**T<sub>m</sub>**)
- Temperatura di Omogeneizzazione (**T<sub>h</sub>**)

# Spettroscopia Raman



**Bande del picco dell'acqua:** 3014, 3220, 3430, 3572, 3636 cm<sup>-1</sup>



# Analisi termometrica

## 1- Calibrazione con lo standard dell'H<sub>2</sub>O

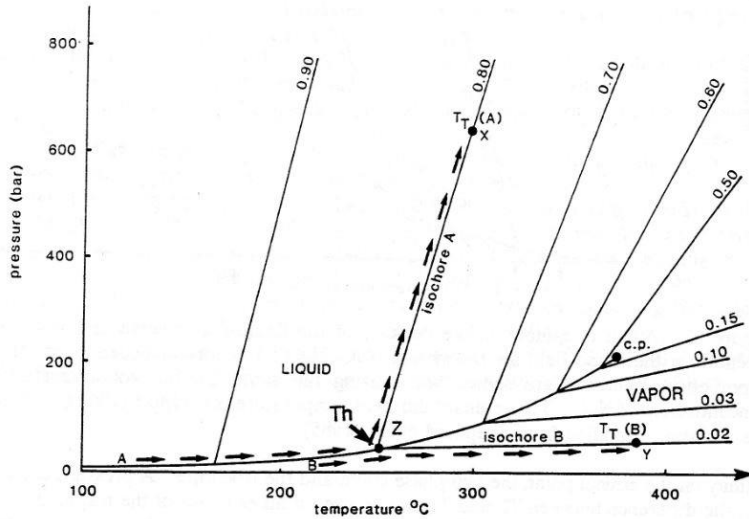
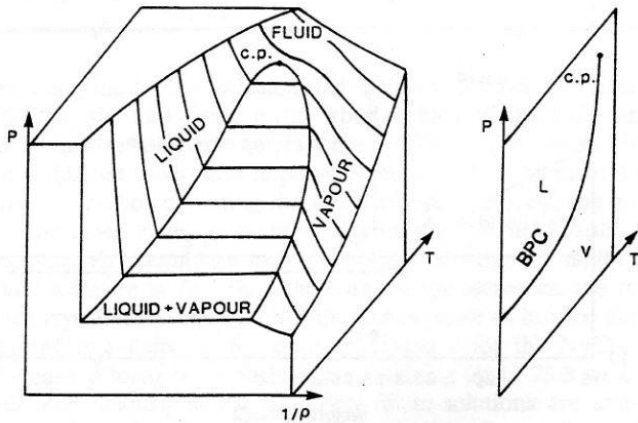


Diagramma P-T (curva L-V) per l'acqua pura: durante il riscaldamento si giunge alla Temperatura di Omogeneizzazione (Th).

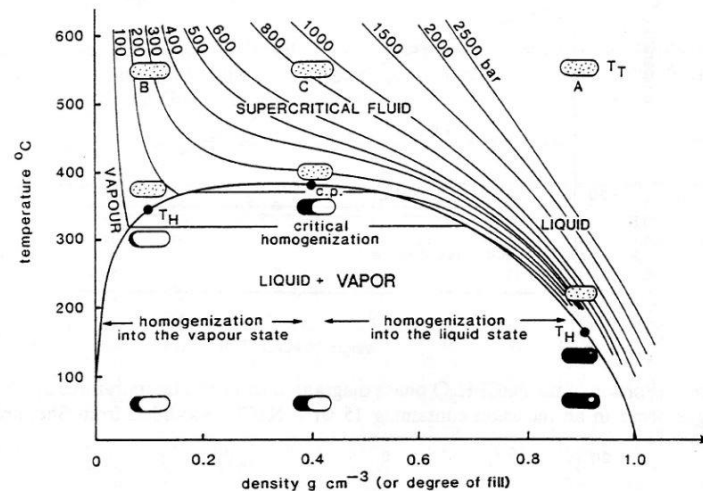
Ci sono tre tipi di omogeneizzazione:

- Omogeneizzazione a Liquido
- Omogeneizzazione a Vapore
- Omogeneizzazione Critica

Le inclusioni A e B hanno la stessa Th ma seguono diversi percorsi (=Isocore: curve di Volume Molare costante) perché hanno diversa densità.



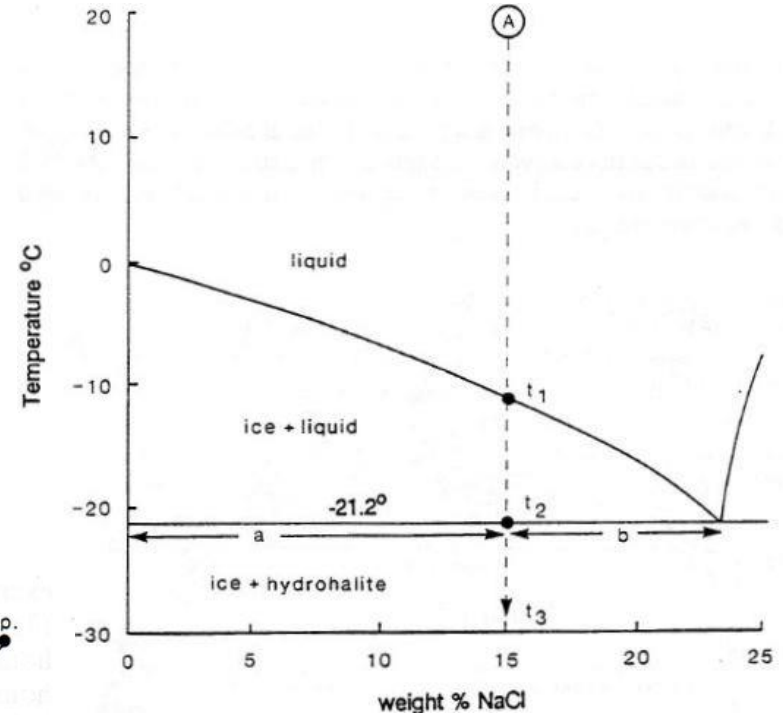
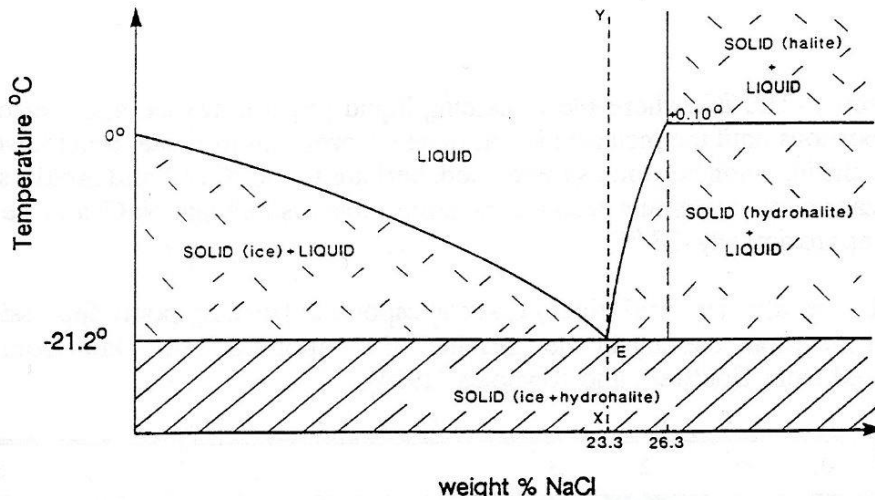
Relazioni tra Temperatura, Pressione, Densità; BPC= Boiling Curve (curva L+V)



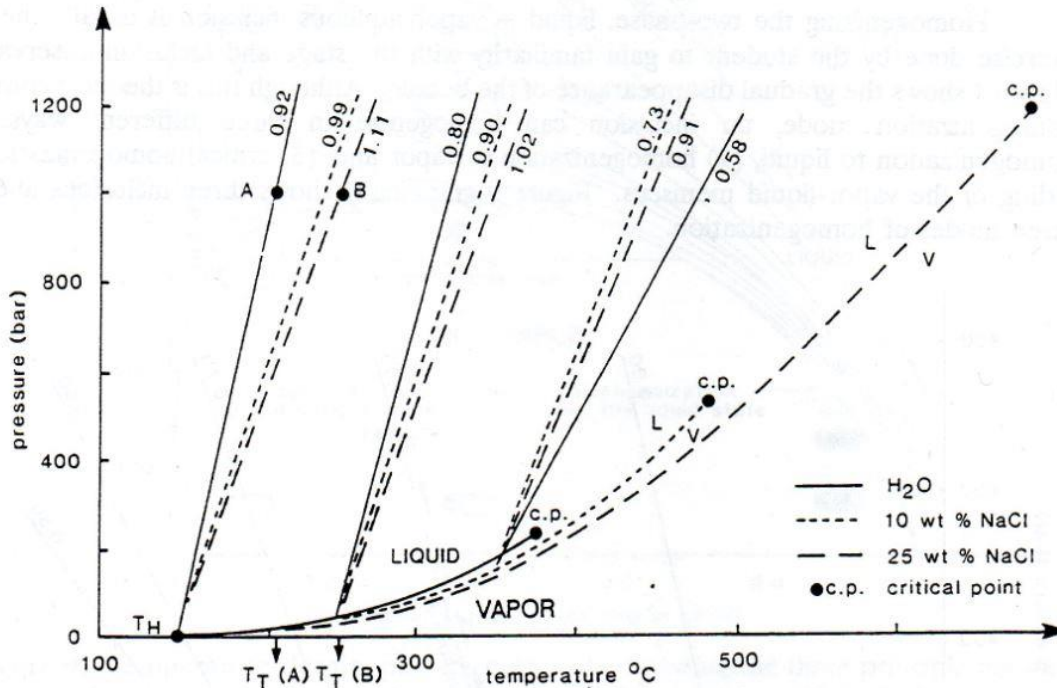
L'inclusione C contiene la Densità Critica: CP= Critical Point (T<sub>c</sub>=373,95°C)

# Analisi termometrica

## 2- Th e Tm



Esempio di riscaldamento di un'inclusione con 15% NaCl

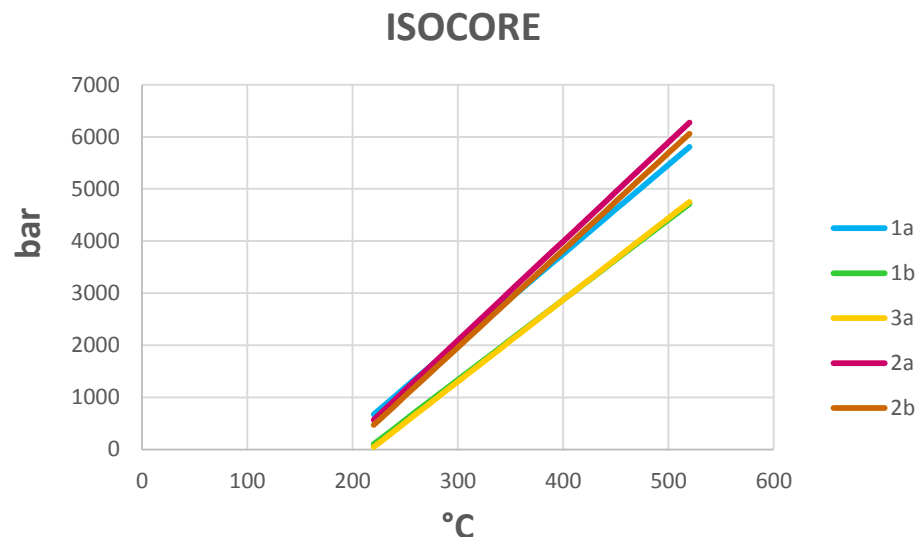


### Effetto della Salinità:

- Sposta la curva a due fasi (BPC)
- Sposta il Punto Critico a più alte T,P
- Cambia la pendenza delle Isocore

# Costruzione delle Isocore

Tipo Inclusione	N°Inclusione	Tm(ice)°C	Th(liq)°C
Primaria	<b>1a</b>	-4	181
Primaria	<b>1b</b>	-4.2	214
Primaria	<b>3a</b>	-6.2	218
Frattura	<b>2a</b>	-12.2	190.4
Frattura	<b>2b</b>	-12.1	195.4

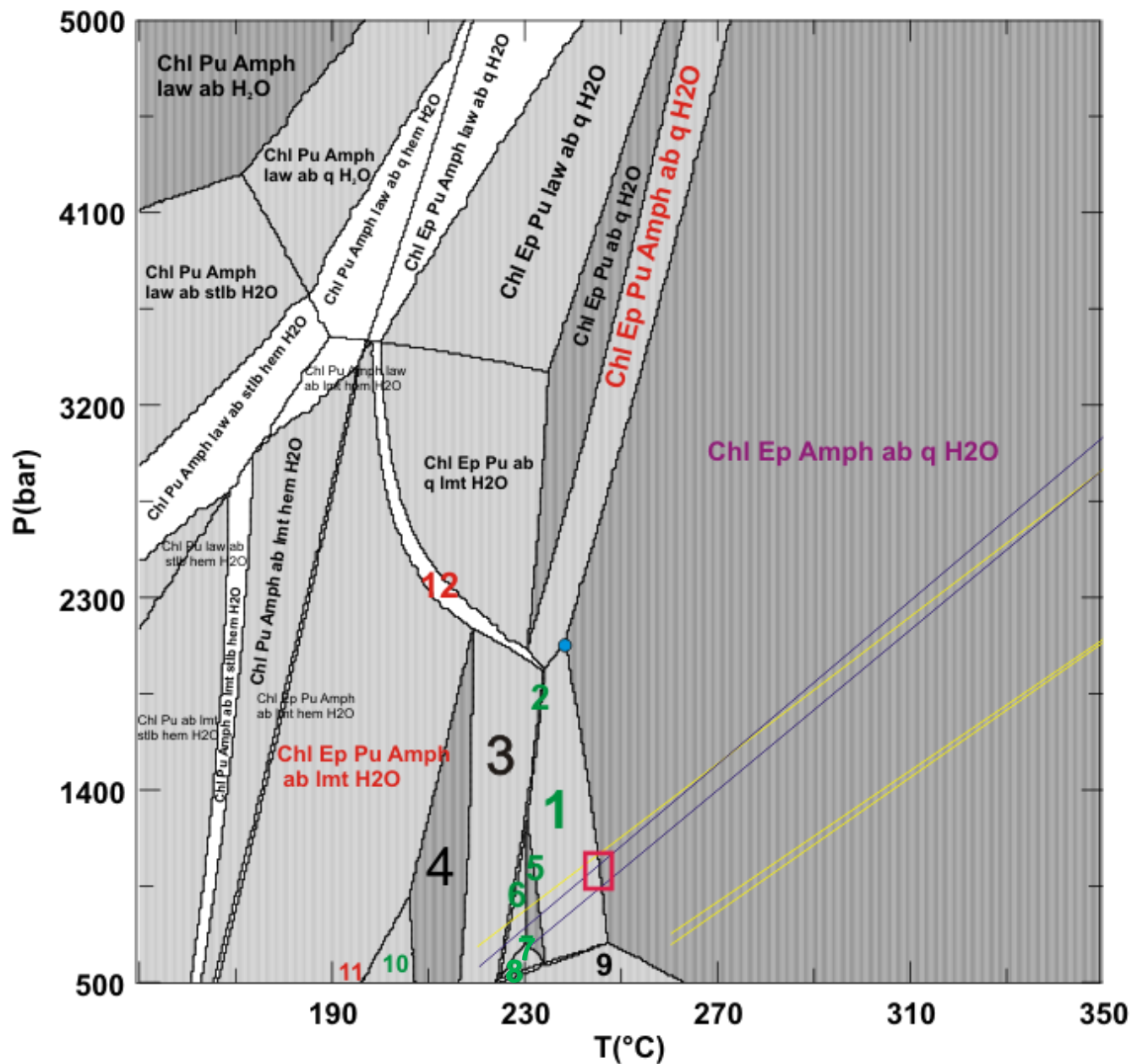


Dati ottenuti dalle analisi termometriche

	Ph(bar)	H2O	Na+	Cl-	Vm(cc/mol)	NaCl(mass%)
<b>1a</b>	8.275224	0.959515	0.020242	0.020242	20.14833	6.536547
<b>1b</b>	17.20332	0.95768	0.02116	0.02116	20.862313	6.831333
<b>3a</b>	18.76005	0.940292	0.029854	0.029854	20.880531	9.617729
<b>2a</b>	10.16763	0.897255	0.051372	0.051372	20.4231	16.46387
<b>2b</b>	11.37219	0.897879	0.051061	0.051061	20.500715	16.365184

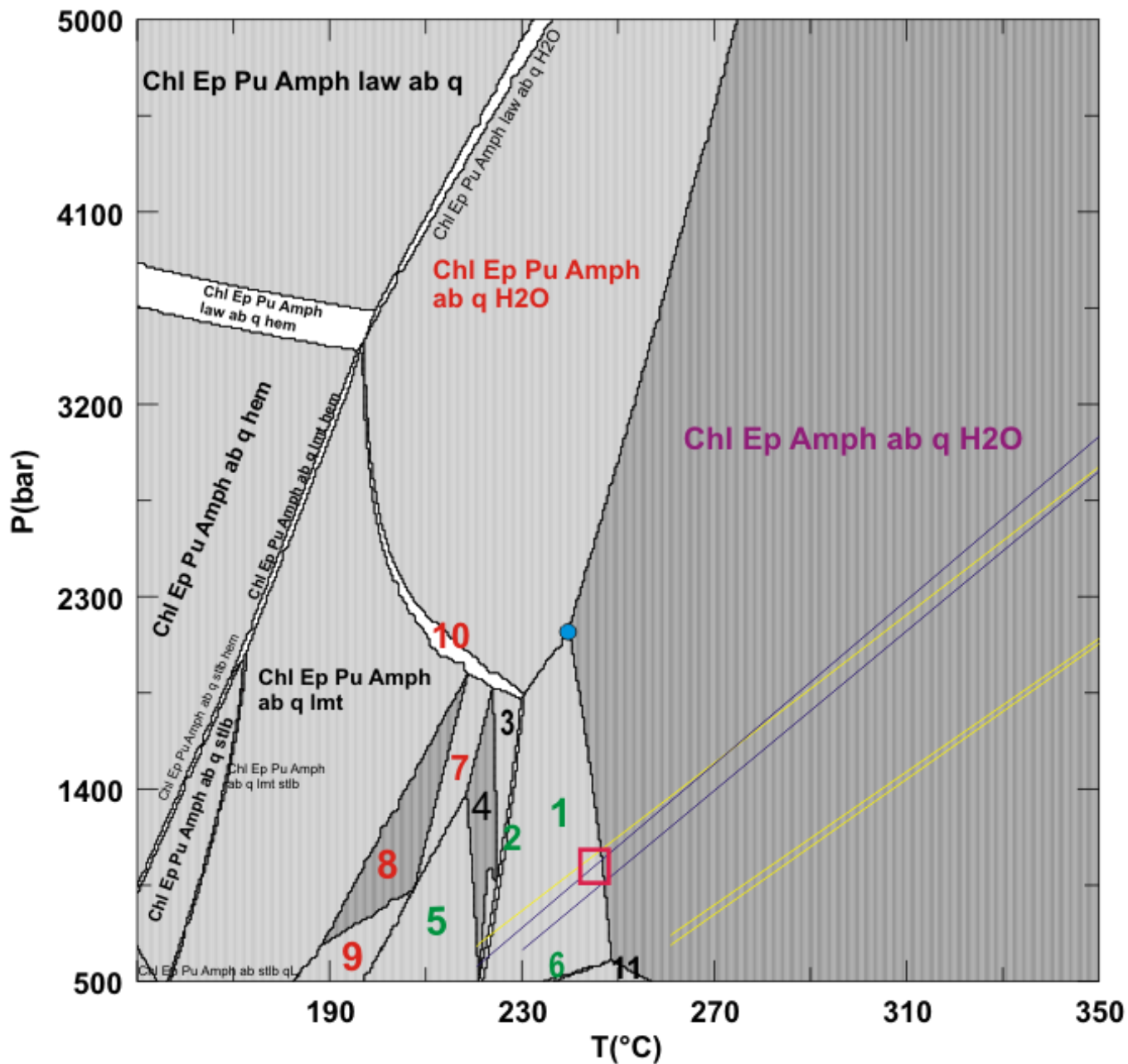
Dati ottenuti con il Software BULK

1



- 1) Chl-Ep-Amph-pre-ab-q-H2O
- 2) Chl-Ep-Amph-pre-ab-q-lmt-H2O
- 3) Chl-Ep-Amph-ab-q-lmt-H2O
- 4) Chl-Ep-Amph-ab-lmt-H2O
- 5) Chl-Ep-pre-ab-q-H2O
- 6) Chl-Ep-pre-ab-q-lmt-H2O
- 7) Chl-Ep-pre-ab-q-wrk-H2O
- 8) Chl-Ep-Amph-pre-ab-q-wrk-H2O
- 9) Chl-Ep-Amph-ab-q-wrk-H2O
- 10) Chl-Ep-Amph-pre-ab-lmt-H2O
- 11) Chl-Ep-Pu-Amph-pre-ab-lmt-H2O
- 12) Chl-Ep-Pu-Amph-ab-q-lmt-H2O





- 1) Chl-Ep-Amph-pre-ab-q-H<sub>2</sub>O
- 2) Chl-Ep-Amph-pre-ab-q-lmt-H<sub>2</sub>O
- 3) Chl-Ep-Amph-ab-q-lmt-H<sub>2</sub>O
- 4) Chl-Ep-Amph-ab-lmt-H<sub>2</sub>O
- 5) Chl-Ep-Amph-pre-ab-lmt-H<sub>2</sub>O
- 6) Chl-Ep-Amph-pre-ab-q-wrk-H<sub>2</sub>O
- 7) Chl-Ep-Pu-Amph-ab-lmt-H<sub>2</sub>O
- 8) Chl-Ep-Pu-Amph-ab-lmt
- 9) Chl-Ep-Pu-Amph-pre-ab-lmt
- 10) Chl-Ep-Pu-Amph-ab-q-lmt-H<sub>2</sub>O
- 11) Chl-Ep-Amph-ab-q-wrk-H<sub>2</sub>O

# Conclusioni

- Le Isocore non passano per il Punto Invariante calcolato nella Pseudosezione del sistema NCFMASHO.
- Il Punto Invariante si trova verosimilmente all'intersezione tra le Isocore e la reazione di decomposizione della Prehnite.
- I dati termodinamici di Fe<sup>2+</sup>-Pumpellyite e Fe<sup>3+</sup>-Pumpellyite e/o il Modello di Soluzione Solida utilizzato per la Pumpellyite non sono sufficientemente affidabili perché non in grado di riprodurre le condizioni P-T del punto invariante.

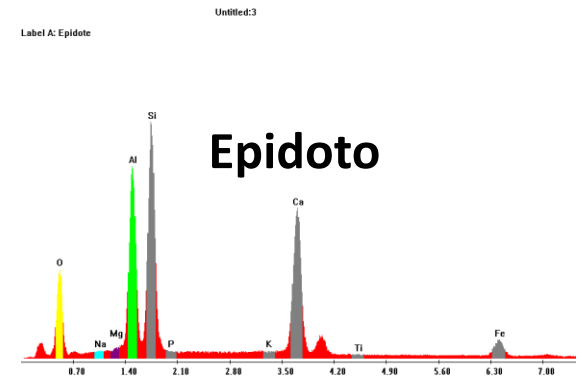
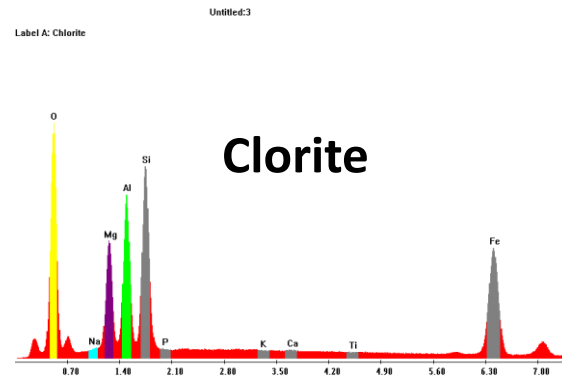
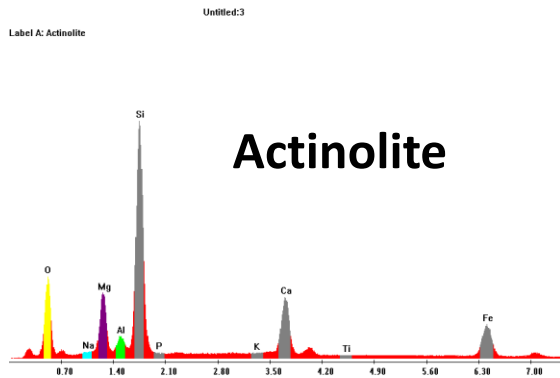
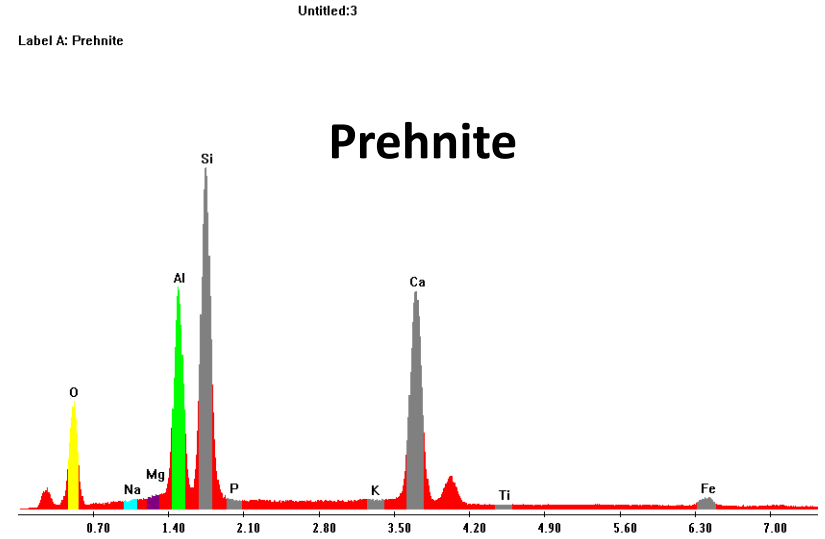
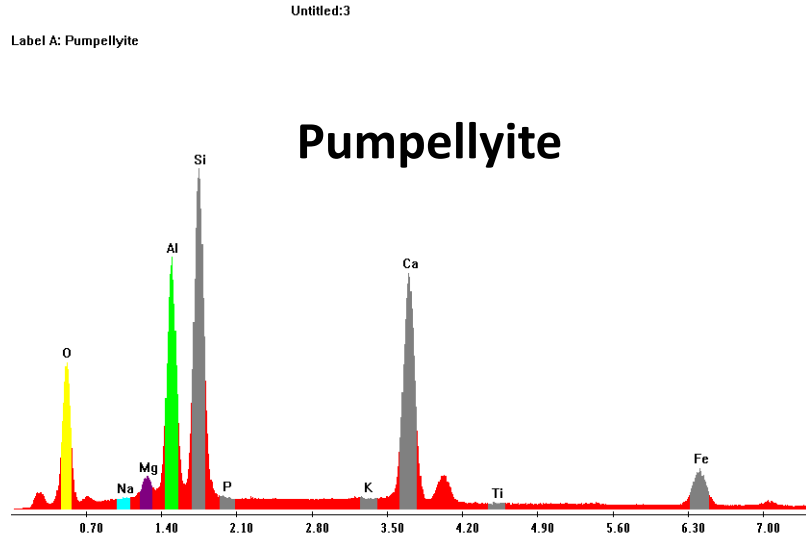
# Bibliografia

- Bakker R.J. Doppler G., Salinity and density modifications of synthetic H<sub>2</sub>O and H<sub>2</sub>O-NaCl fluid inclusions in re-equilibration experiments at constant temperature and confining pressure, *Chemical Geology* 424, 73-85, 2016
- Bakker R.J., Package Fluids. Part 4: thermodynamic modelling and purely empirical equations for H<sub>2</sub>O-NaCl-KCl solutions, *Miner Petrol* 105, 1-29, 2012
- Bevins R.E. Lees G.J. Roach R.A., Ordovician intrusions of the Strumble Head - Mynydd Preseli region, Wales: later extensions of the Fishguard Volcanic Complex, *Journal of the Geological Society, London* 146, 113-123, 1989
- Coombs D.S. Horodyski R.J. Naylor R.S., Occurrence of prehnite-pumpellyite facies metamorphism in northern Maine, *American Journal of Science* 268, 142-156, 1970
- D'Amico C. Innocenti F. Sassi F.P., *Magmatismo e Metamorfismo*, UTET, 1991
- De Vivo B. & Frezzotti M.L., *Fluid inclusions in minerals: methods and applications*, Virginia Tech, 1994
- Digel S.G. & Gordon T.M., Phase relations in metabasites and pressure-temperature conditions at the prehnite-pumpellyite to greenschist facies transition, Flin Flon, Manitoba Canada, *Geological Society of America* 296, 1995
- Frey M. & Robinson D., *Low-Grade Metamorphism*, Blackwell Science, 1999
- Hollister L.S. & Crawford M.L., *Short course in fluid inclusions: applications to petrology*, Mineralogical Association of Canada, 1981
- Massone H-J. & Willner A.P., Phase relations and dehydration behaviour of psammopelite and mid-ocean ridge basalt at very-low-grade to low-grade metamorphic conditions, *Eur. J. Mineral.* 20, 867-879, 2008
- Qiang Sun, Raman spectroscopic study of the effects of dissolved NaCl on water structure, *Vibrational Spectroscopy* 62, 110-114, 2012
- Robinson D. & Bevins R.E., Incipient metamorphism in the Lower Palaeozoic marginal basin of Wales, *J. Metamorphic Geol.* 4, 101-113, 1986
- Robinson D. Bevins R.E. Rubinstein N., Subgreenschist facies metamorphism of metabasites from the Precordillera terrane of western Argentina; constraints on the later stages of accretion onto Gondwana, *Eur J. Mineral* 17, 441-452, 2005
- Roedder E., *Fluid inclusions*, Mineralogical Society of America, 1984
- Samson I. Anderson A. Marshall D., *Fluid inclusions – Analysis and Interpretation*, Mineralogical Association of Canada, 2003
- Van der Kerkhof A.M. Hein U.F., Fluid inclusion petrography, *Lithos* 55, 27-47, 2001
- W. Day H. & Springer R.K., The first appearance of actinolite in the prehnite-pumpellyite facies, Sierra Nevada, California, *The Canadian Mineralogist* 43, 89-104, 2005

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**



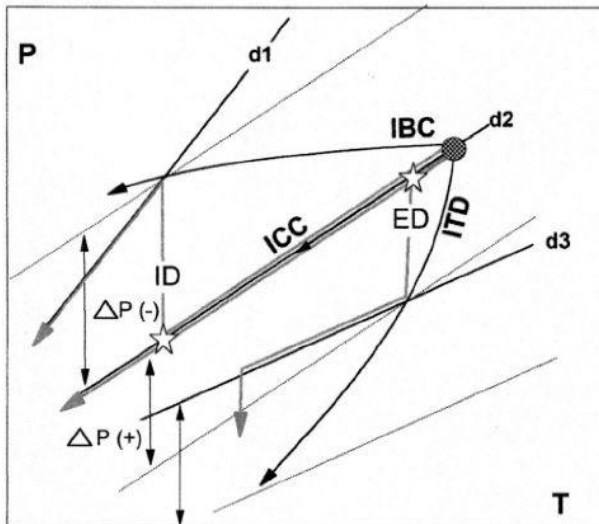
# Spettri EDS



# Ulteriori considerazioni

Due Isocore risultano non diagnostiche: probabilmente le inclusioni fluide sono state parzialmente riequilibrate durante il percorso retrogrado:

- Percorso di risalita della roccia: decompressione
- Aumento del Gradiente tra la Pressione Interna alle inclusioni e la Pressione esterna di confinamento
- Fratturazione del cristallo e aumento del volume dell'inclusione
- Diminuzione della Pressione delle inclusioni
- Il percorso di raffreddamento dell'inclusione segue un Isocora di più bassa Pressione



- Decompressione isoterma (ITD): explosion-decrepitation (ED)
- Raffreddamento isobarico (IBC): implosion-decrepitation (ID)
- Raffreddamento lungo l'isocora (ICC)