

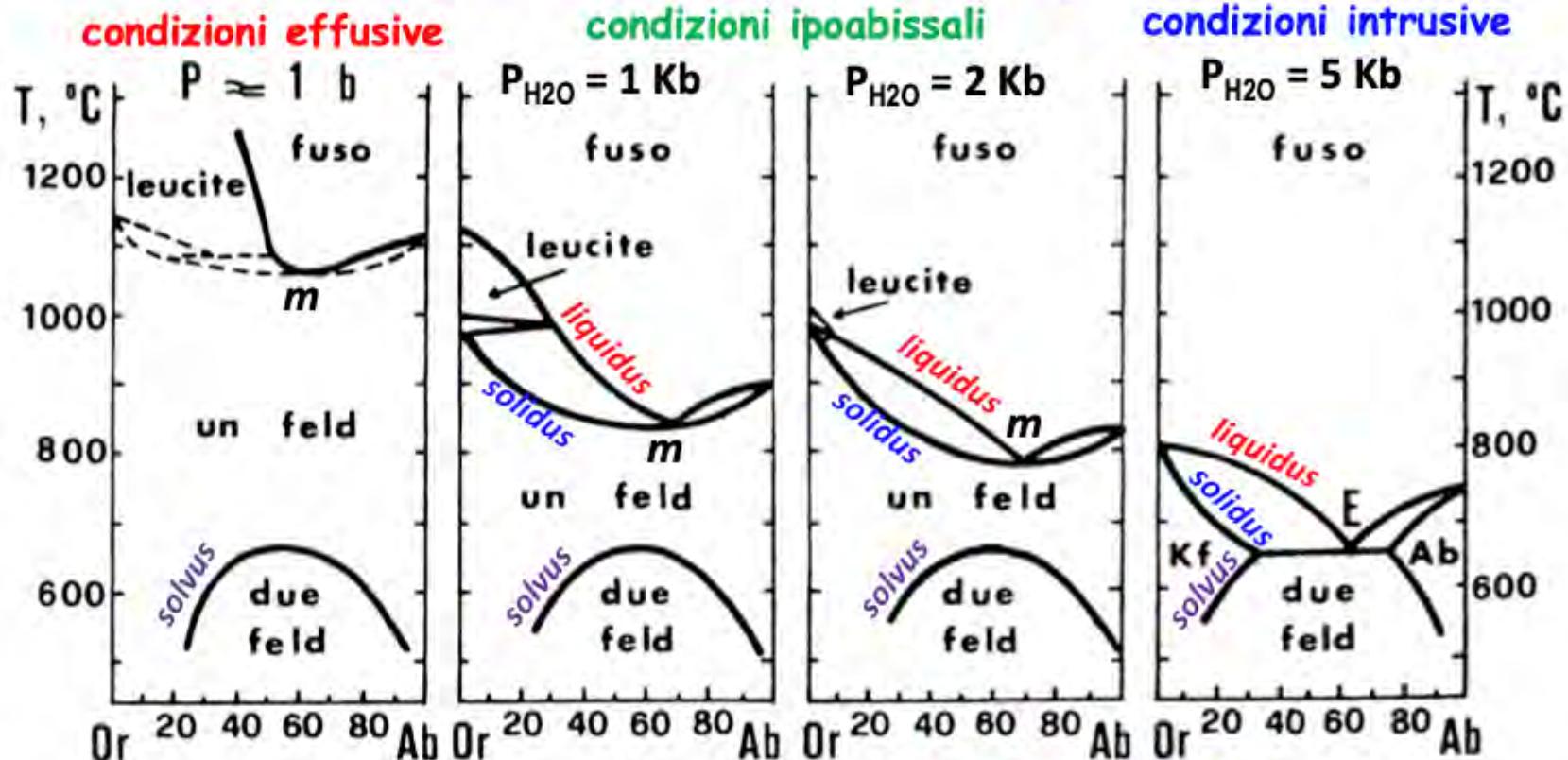
# Sistema binario con componenti parzialmente o totalmente miscibili allo stato solido

## K-feldspato - Albite

K-feldspato ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) – Albite ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )

Soluzione solida a miscibilità completa ad alte T e basse P e a miscibilità parziale a bassa T e alta  $P_{\text{H}_2\text{O}}$

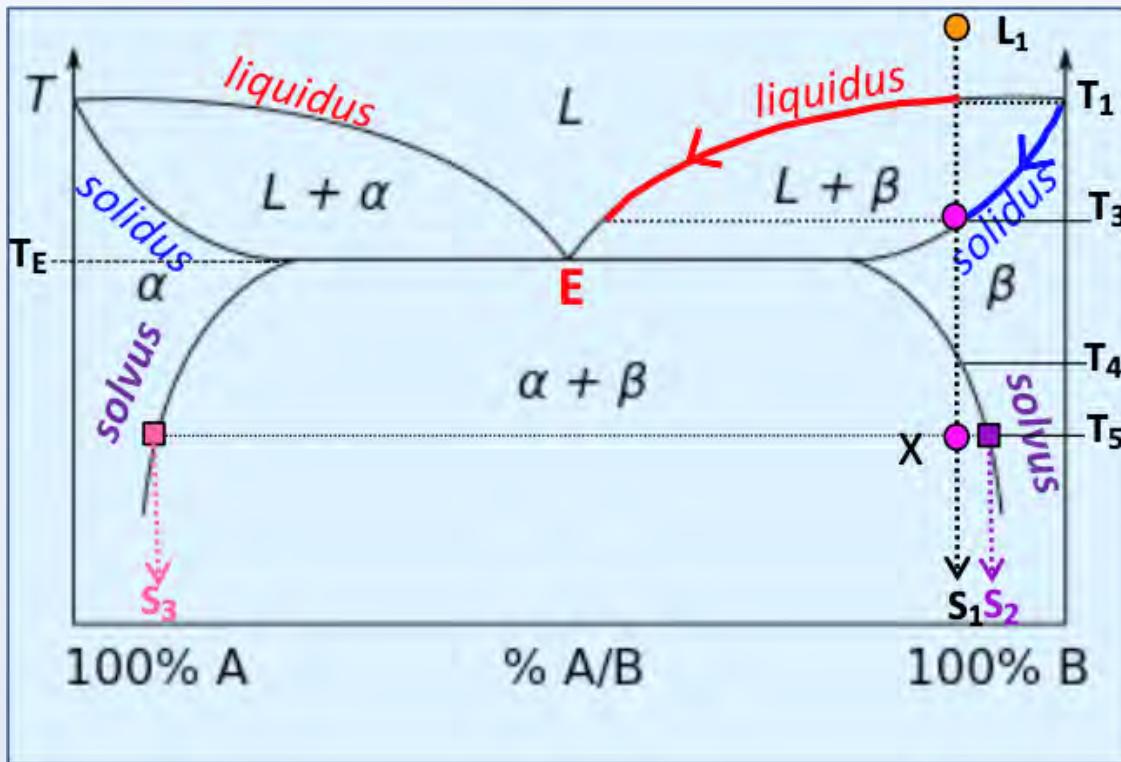
(in crosta  $1\text{Kb} \approx 3.7\text{ km}$  per  $\rho$  graniti  $\approx 2.7\text{ g/cm}^3$ )



L'aumento della  $P_{\text{H}_2\text{O}}$  abbassa le T di **liquidus** e **solidus**

→ intersezione di **liquidus** e **solidus** con il **solvus**  
minimo termico (m) diventa Eutettico

## Soluzione solida miscibilità parziale – caso generale



### Cristallizzazione all'equilibrio

Solvus: curva che determina il campo all'interno del quale non esiste miscibilità / curva di smistamento

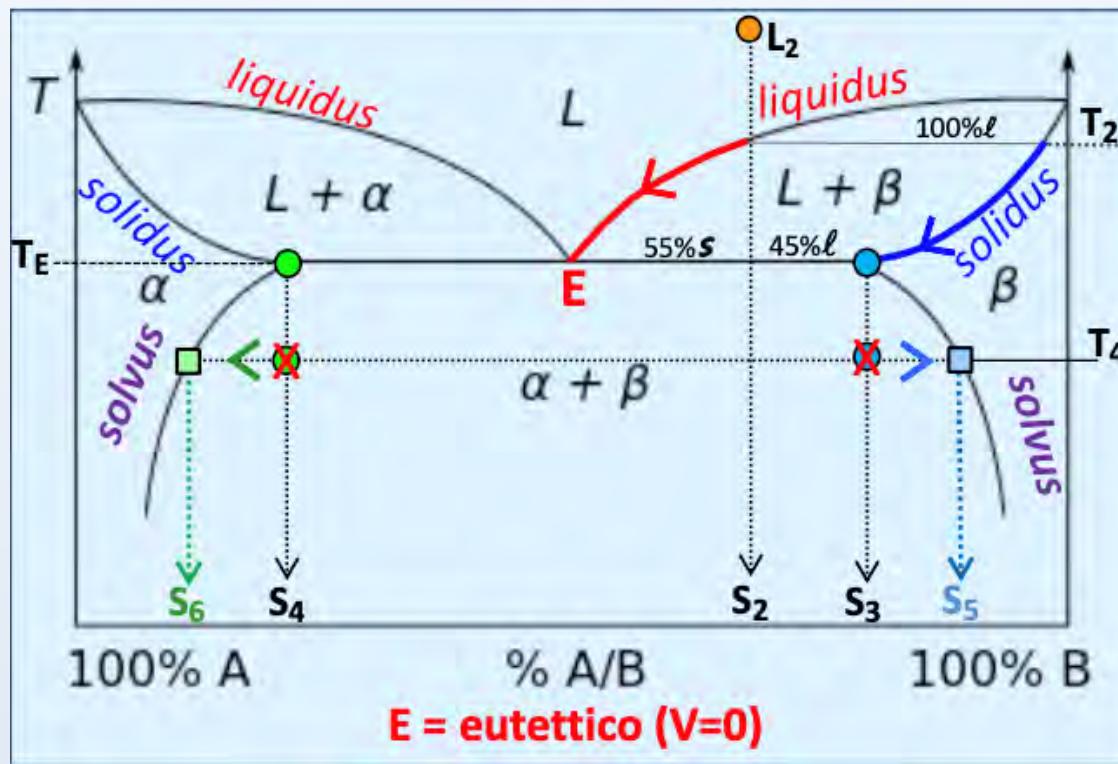
$\alpha$ ,  $\beta$  = soluzioni solide

Per liquidi di partenza con composizione molto prossima ai componenti puri, tipo  $L_1$  (di composizione  $S_1$ ), il percorso del liquido e del solido è analogo al caso precedente (vedi An-Ab o Fo-Fa)

Il liquido  $L_1$  inizia a cristallizzare in  $T_1$  e termina in  $T_3$ ; la composizione del solido  $\beta$  via via cambia e per una cristallizzazione all'equilibrio il solido finale  $\beta$  ha composizione  $S_1 = L_1$ .

Durante il raffreddamento, la composizione  $S_1$  del solido  $\beta$  è stabile fino a  $T=T_4$ , cioè fino a quando non tocca il solvus. La fase  $\beta$  in equilibrio alla  $T=T_5$  deve avere composizione  $S_2$ . Per arrivare a questo, la fase  $\beta$  di composizione  $S_1$  espelle (smista /essolve) dalla sua struttura il componente  $\alpha$  di composizione  $S_3$ , acquisendo così la composizione  $S_2$ .

## Soluzione solida miscibilità parziale – caso generale



## Cristallizzazione all'equilibrio

Solvus: curva che determina il campo all'interno del quale non esiste miscibilità / curva di smistamento

$\alpha$ ,  $\beta$  = soluzioni solide

Per liquidi di partenza di composizione compresa tra  $S_3$  e  $S_4$ , es.  $L_2$ :

Il liquido  $L_2$  inizia a cristallizzare in  $T_2$  producendo un solido  $\beta$  di composizione molto prossima a B. Al proseguire della cristallizzazione  $L_2$  cambia di composizione lungo il liquidus e il solido anche.

Arrivato in E il liquido cristallizza 2 fasi: la fase  $\beta$  di composizione  $S_3$  e la fase  $\alpha$  di composizione  $S_4$ . La T resta fissa a  $T_E$  ( $V=0$ , 3 fasi !!) fino a quando tutto il liquido è cristallizzato.

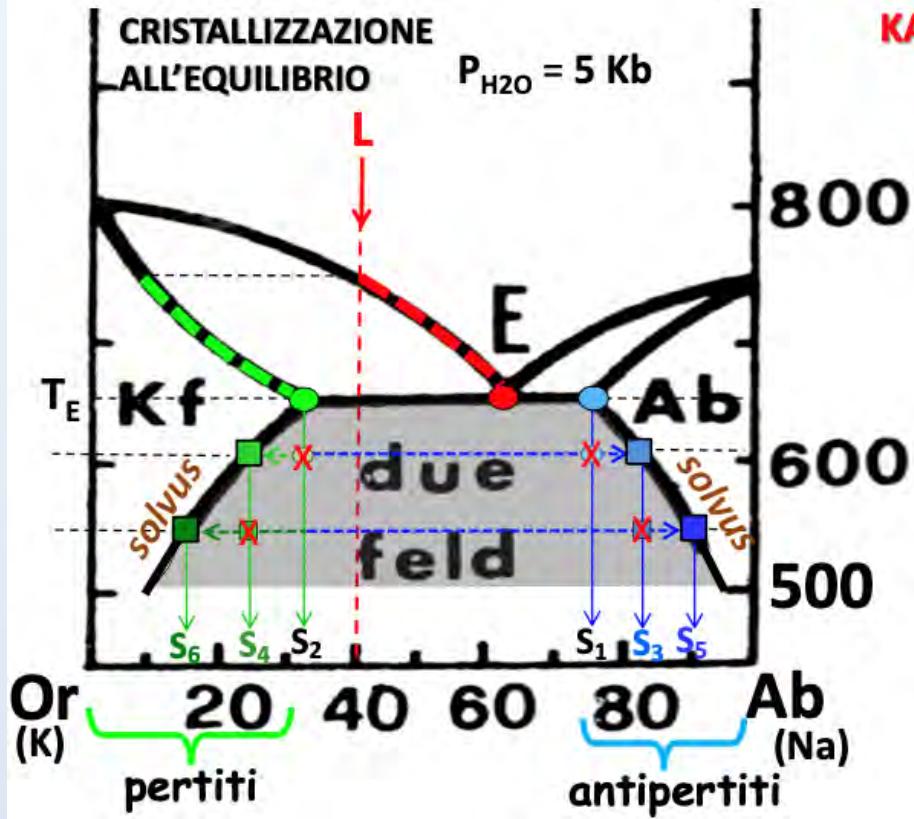
Durante il raffreddamento, per es. a  $T_4$ , né la fase  $\beta$  di composizione  $S_3$  né la fase  $\alpha$  di composizione  $S_4$  sono in equilibrio alla  $T_4$  (cadono all'interno del solvus!). Il processo di equilibratura comporta che il solido  $S_3$  cambia la sua composizione in  $S_5$  essolvendo il componente  $\alpha$  di composizione  $S_6$ ; parallelamente il solido  $S_4$  cambia la sua composizione in  $S_6$  essolvendo il componente  $\beta$  di composizione  $S_5$ .

# Sistema K-feldspato - Albite

(Bassa T e alta P → Soluzione solida miscibilità parziale)

K-feldspato ( $\text{KAISi}_3\text{O}_8$ ) – Albite ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )

Soluzione solida a miscibilità completa ad alte T e basse P e a miscibilità parziale a bassa T e alta  $P_{\text{H}_2\text{O}}$



Per un liquido L la cristallizzazione finisce nel punto eutettico E ( $T=650^\circ\text{C}$ ) con produzione di due fasi:

- feldspato ricco in Na di composizione  $S_1$
- feldspato ricco in K di composizione  $S_2$ .

Se alla fine della cristallizzazione, segue un processo di lento raffreddamento → condizioni intrusive:

A  $T=600^\circ\text{C}$ , il Na-feldspato di composizione  $S_1$  passa a composizione  $S_3$  essolvendo (smistando) K-feldspato di composizione  $S_4$ . A  $550^\circ\text{C}$  passa a composizione  $S_5$  essolvendo K-feldspato di composizione  $S_6$ .

Risultato → Na-feldspato con lamelle di essoluzione di K-feldspato → **Antiperititi**

Contemporaneamente:

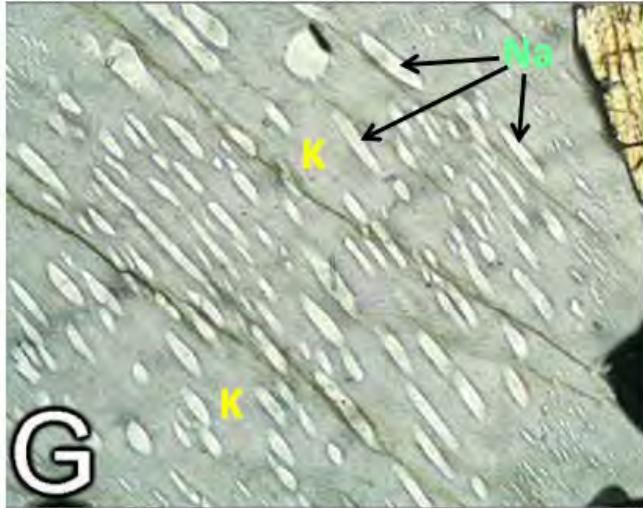
A  $T=600^\circ\text{C}$ , il K-feldspato di composizione  $S_2$  passa a composizione  $S_4$  essolvendo (smistando) Na-feldspato di composizione  $S_3$ . A  $550^\circ\text{C}$  passa a composizione  $S_5$  essolvendo K-feldspato di composizione  $S_6$ .

Risultato → K-feldspato con lamelle di essoluzione di Na-feldspato → **Perititi**

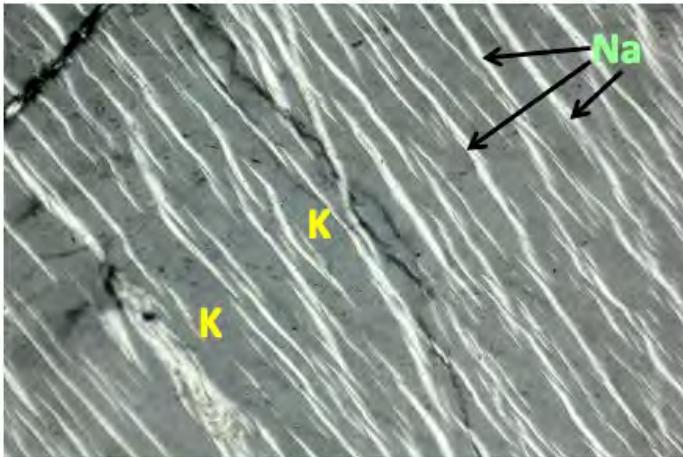
# Sistema K-feldspato - Albite

(Bassa T e alta P → Soluzione solida miscibilità parziale)

**Feldspato pertitico:** : K-feldspato con smistamenti di Na-feld (chiazze chiare)



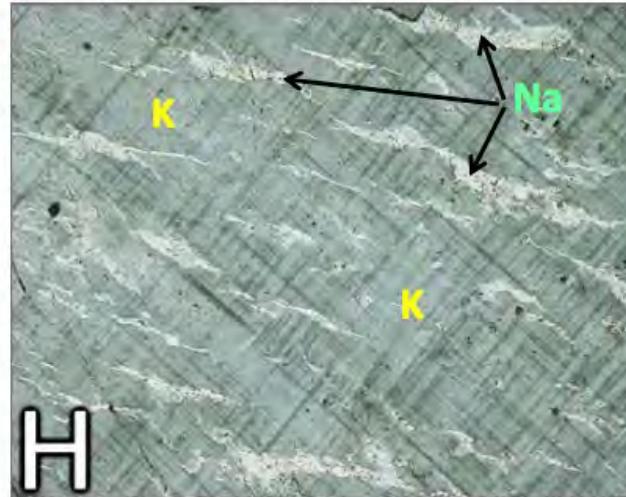
**Feldspato pertitico:** K-feldspato con smistamenti di Na-feld (vene chiare)



**IN ROCCE  
INTRUSIVE**

Al  
microscopio:  
2 polarizzatori

**Feldspato pertitico:** : K-feldspato con smistamenti di Na-feldspato (vene chiare)



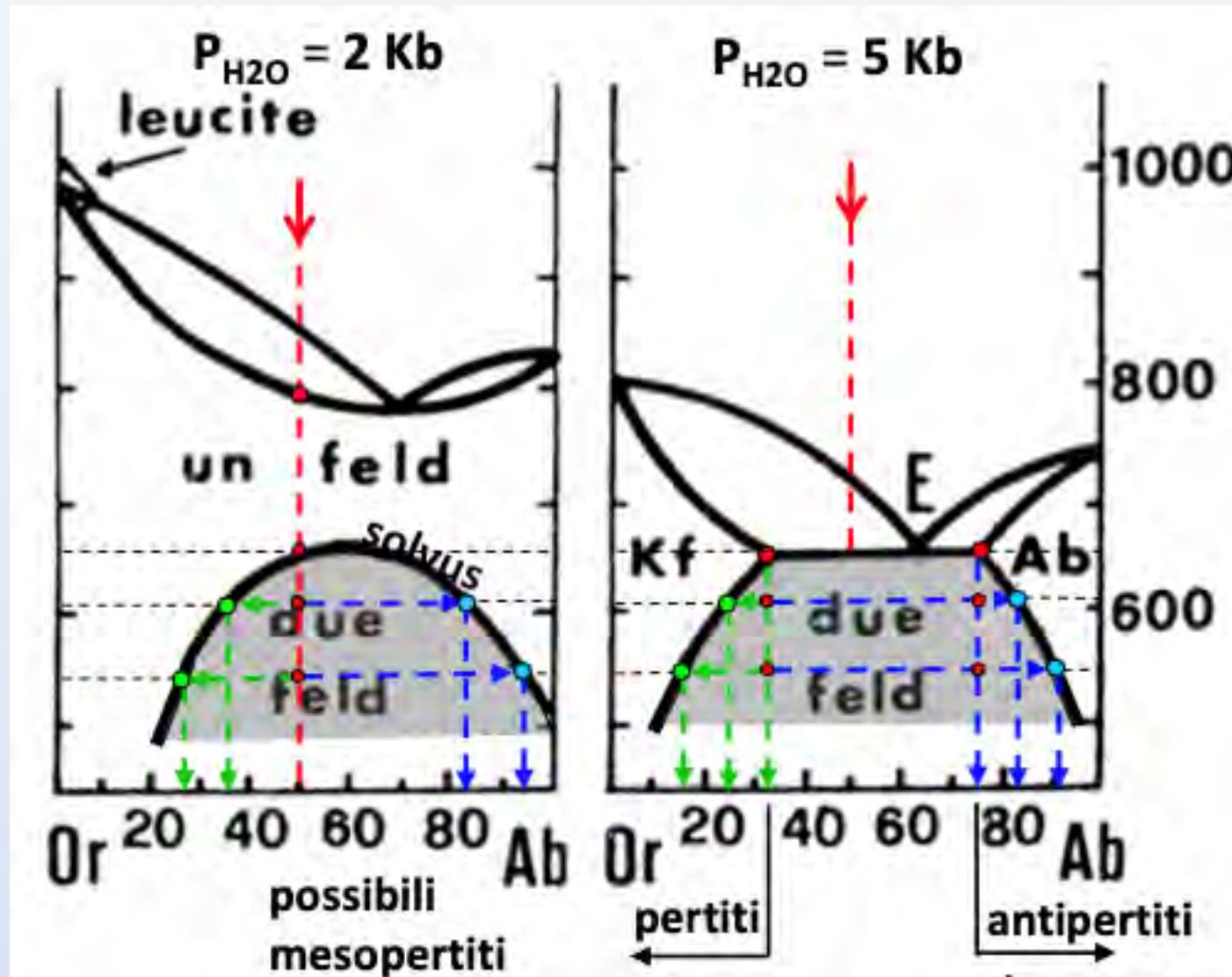
**Feldspato antipertitico:** Na-feld (con geminazioni polisintetiche) con smistamenti di K-feld (chiazze)

Al  
microscopio:  
2 polarizzatori

# Sistema K-feldspato - Albite

Bassa P → miscibilità completa a ~ 700°C

Alta P → miscibilità parziale



# Sistema K-feldspato - Albite

Bassa P → miscibilità completa a ~ 700°C

Alta P → miscibilità parziale

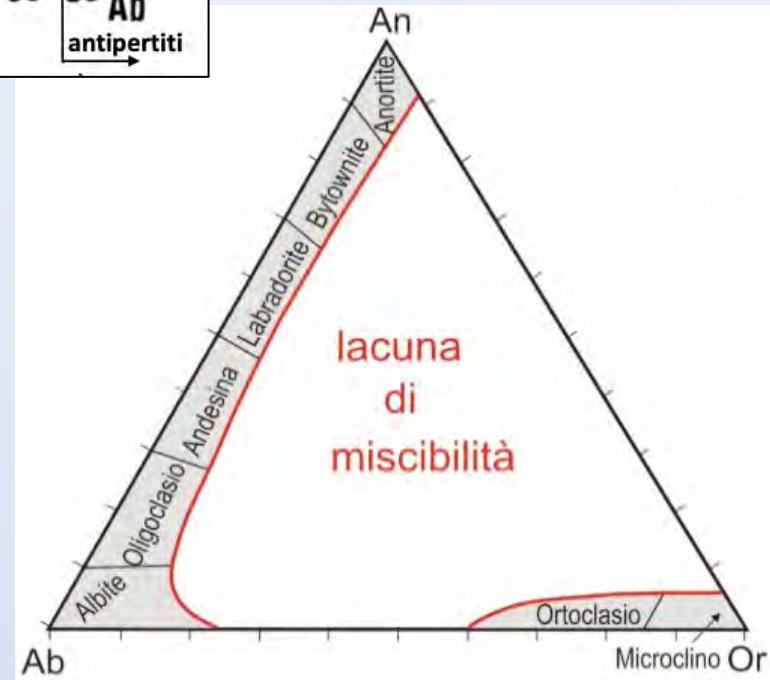
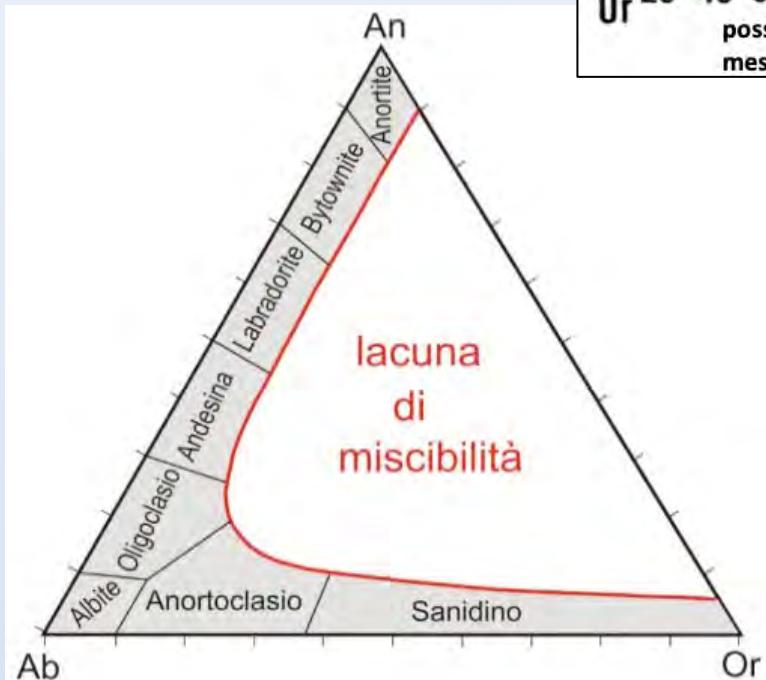
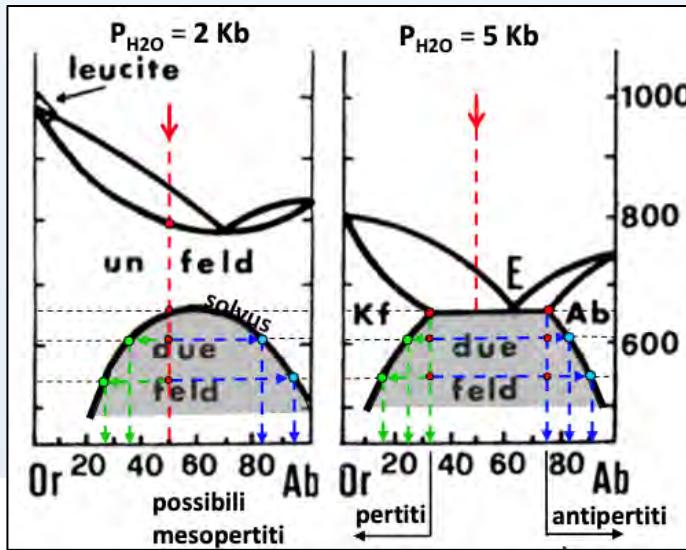
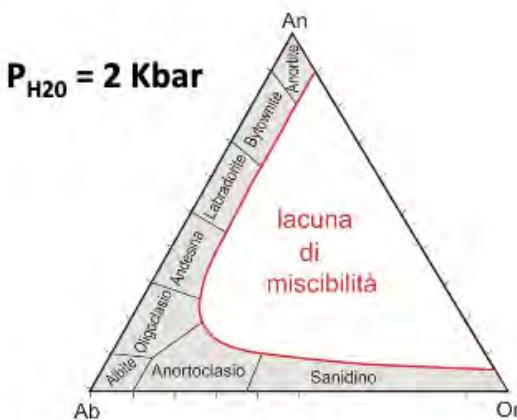
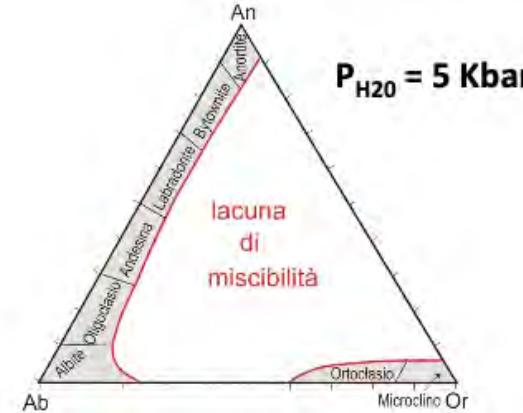


Diagramma dei feldspati con riportato il campo di immiscibilità (= lacuna di miscibilità)

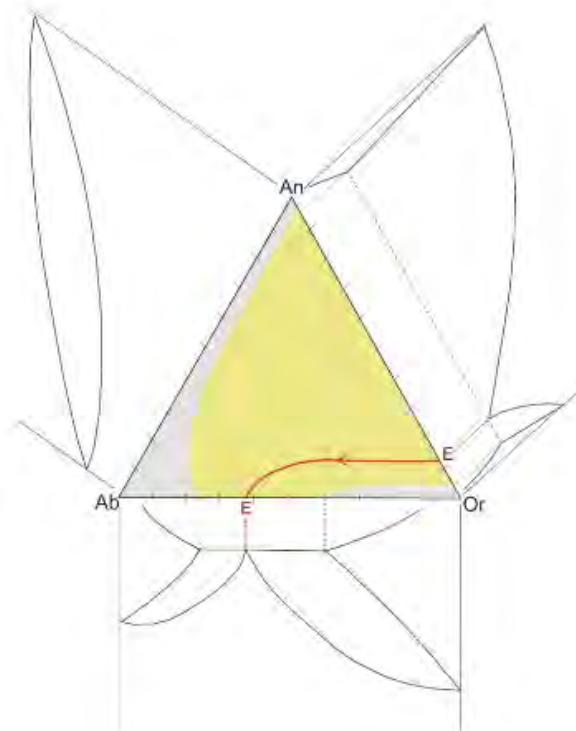
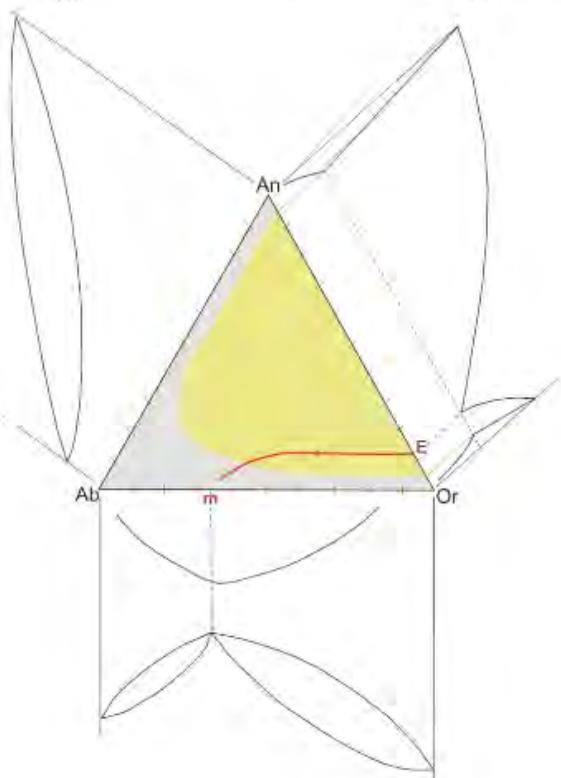
# Diagramma ternario dei feldspati



campo di immiscibilità allo stato solido tra Or-Ab-An



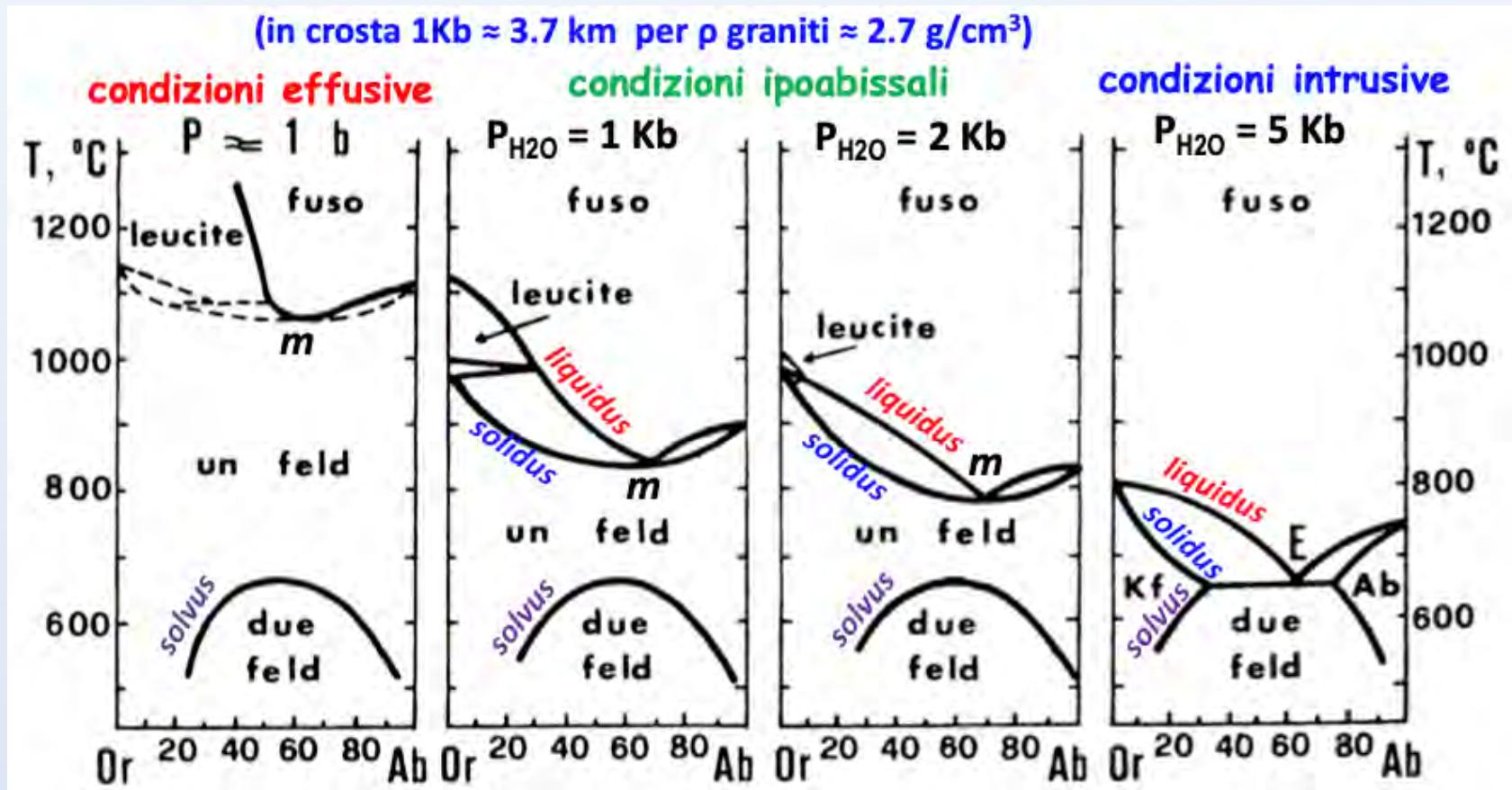
campo di immiscibilità allo stato solido tra Or-Ab-An



# Sistema K-feldspato - Albite

K-feldspato ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) – Albite ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )

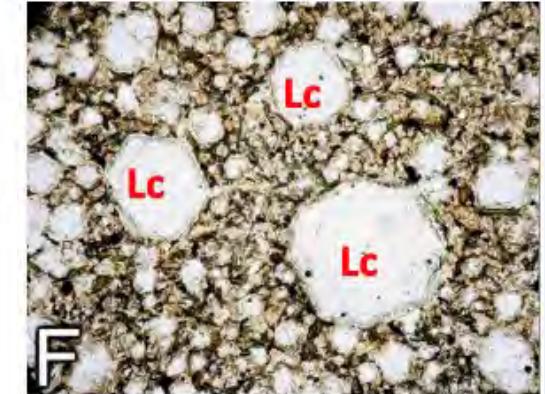
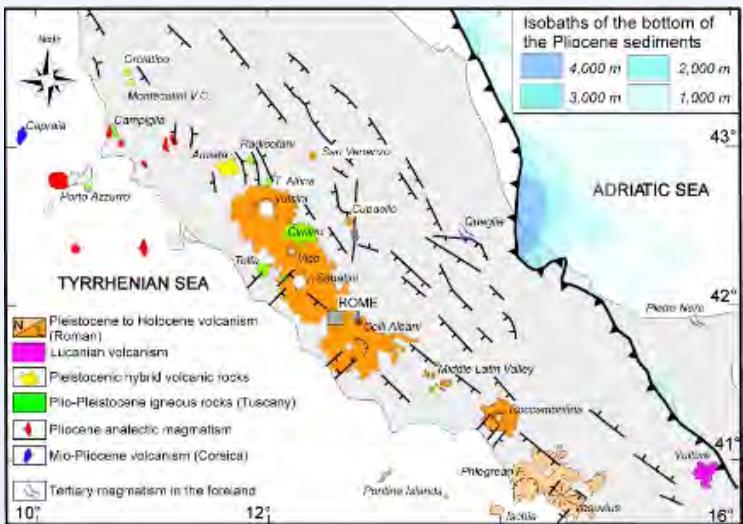
Soluzione solida a miscibilità completa ad alte T e basse P e a miscibilità parziale a bassa T e alta  $P_{\text{H}_2\text{O}}$



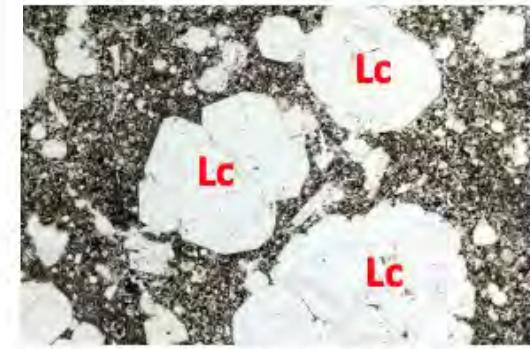
I campo della leucite (feldspatoide  $\text{KAlSi}_3\text{O}_6$ ) si riduce fino a scomparire già a 2 kbar.

Conseguenza: La leucite può essere presente solo in rocce di bassissima P: vulcaniche o ipoabissali

# Esempi



Leucitite al microscopio: 1 pol



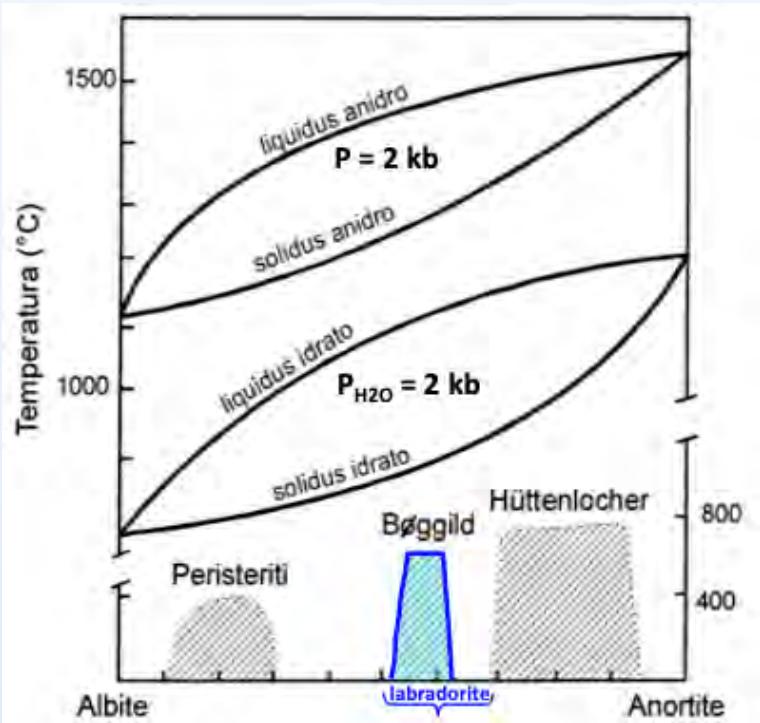
Leucitite al microscopio: 1 pol



Leucitite al microscopio: 2 pol

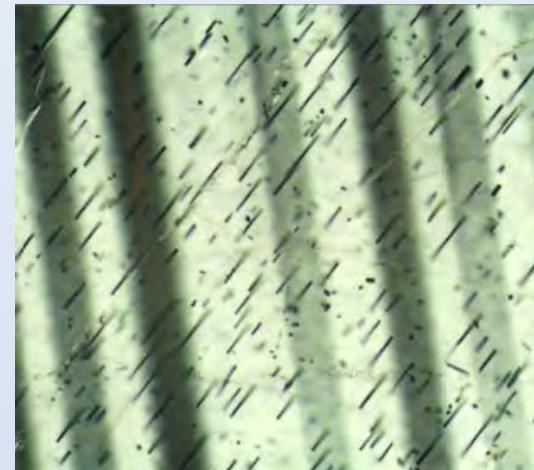


# Plagioclaasi – smistamenti submicroscopici



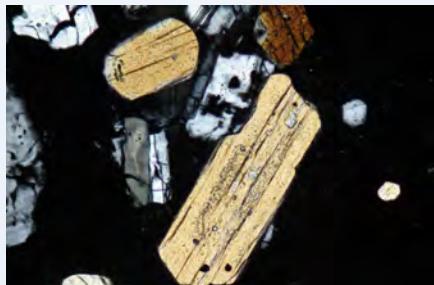
La miscibilità tra An e Ab è completa ad alta T, mentre a bassa T esistono dei piccoli campi di immiscibilità (*solvus*, che producono smistamenti submicroscopici), alcuni dei quali (*Bøggild*) danno origine all'**iridescenza** macroscopica dei plagioclaasi nota come **labradoroscenza**.

I plagioclaasi sono minerali **sialici** (Si, Al, Ca, Na), incolori al microscopio e bianco latteo macro, ma se contengono minutissimi aghi di Fe-Ti ossidi diventano scuri. Quando queste 2 caratteristiche sono associate (labradoroscenza+colore scuro dei plagioclaasi) le rocce (anortositi) diventano lapidei ornamenti di grande pregio.



# Sistema binario con componenti parzialmente miscibili allo stato solido

## Ortopirosseno - Clinopirosseno



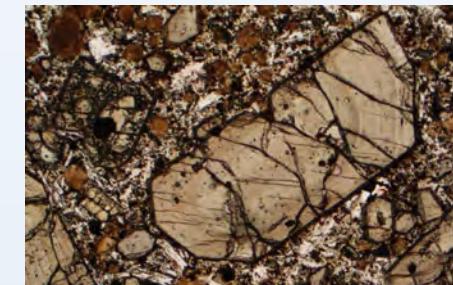
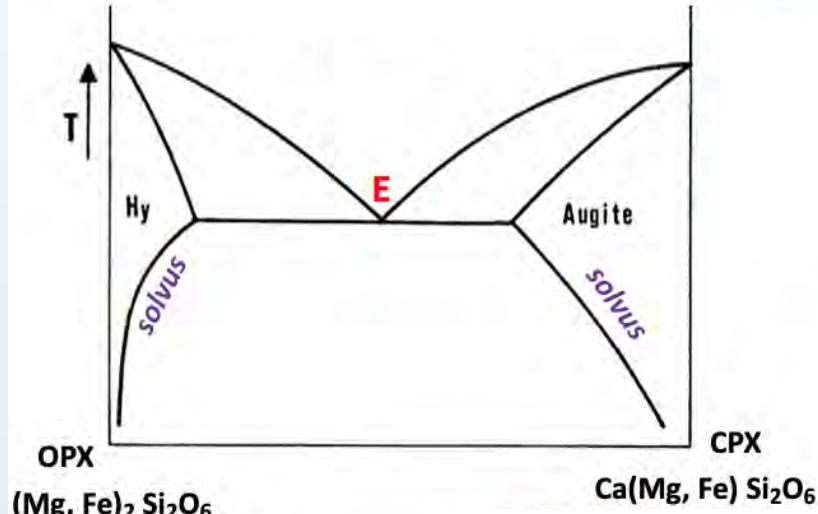
Ortopirosseni e plagioclasti (2 pol., ~ 20x)

(<https://www.alexstrekeisen.it/english/vulc/ortho.pyroxene.php>)

Ortopirosseno con  
lamelle di essoluzione  
di clinopirosseno

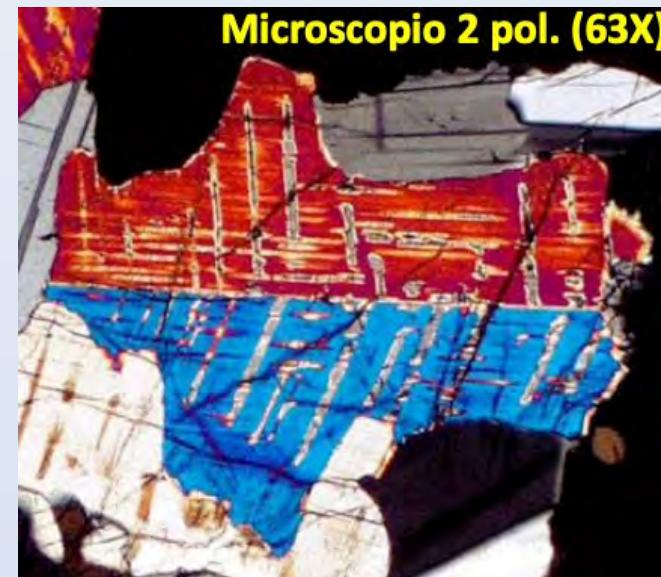


Microscopio 2 pol. (63X)



Clinopirosseno (2 pol., ~ 20x)  
(<https://www.alexstrekeisen.it/english/vulc/ortho.pyroxene.php>)

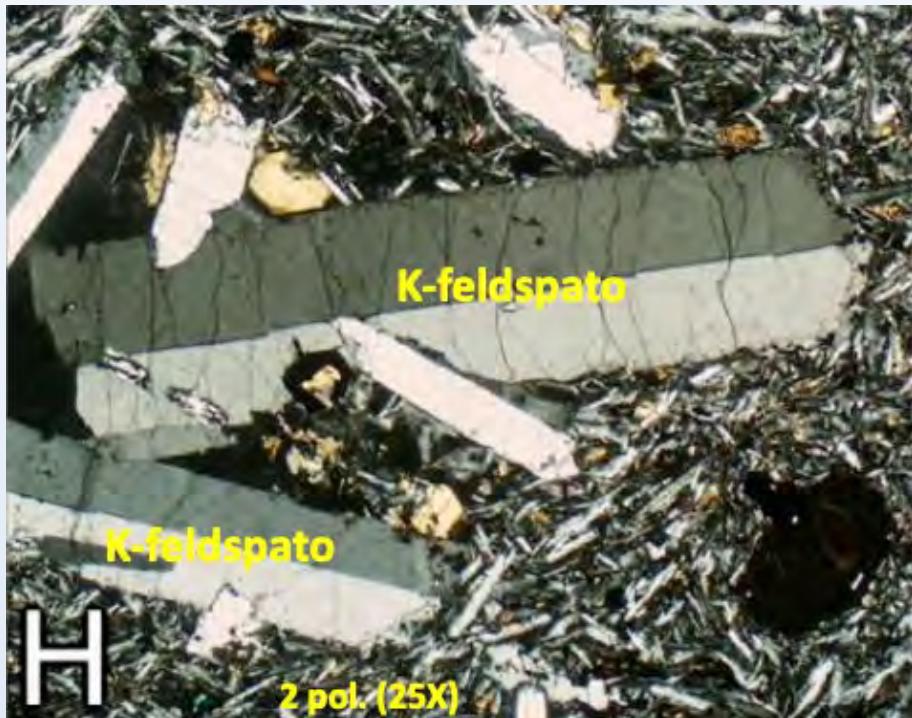
Clinopirosseno con  
lamelle di essoluzione  
di ortopirosseno



Microscopio 2 pol. (63X)

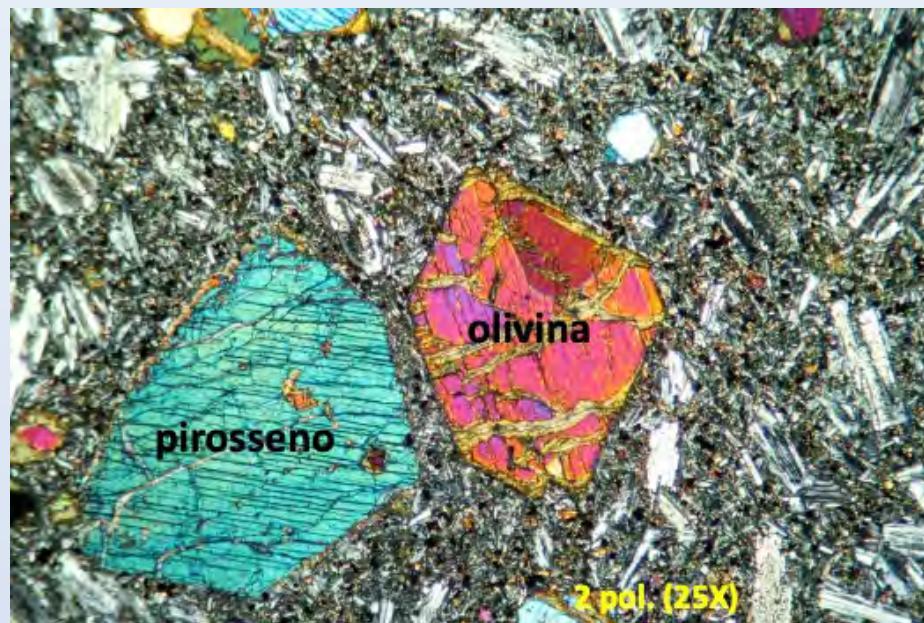
Nelle rocce intrusive,  
se raffreddate  
lentamente sotto  $T_E$ ,  
si hanno smistamenti  
anche nei pirosseni

Nei minerali soluzioni solide a miscibilità parziale gli smistamenti si manifestano solo in condizioni cinetiche favorevoli, cioè in ambiente intrusivo, mai in ambiente effusivo.



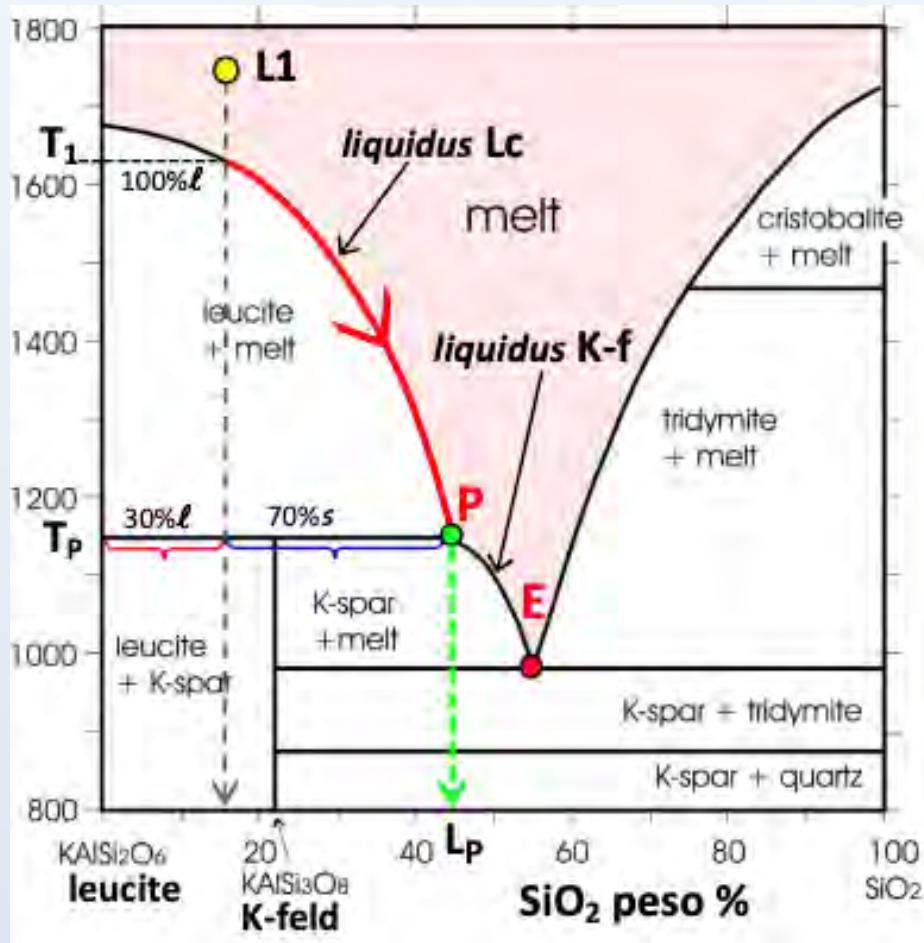
Fenocristalli di K-feldspato (sanidino) in roccia vulcanica (trachite)

Fenocristalli di olivina e pirosseno in roccia vulcanica (basalto)



# Sistema a 2 componenti con composto intermedio e punto peritettico

Leucite ( $KAlSi_2O_6$ ) - quarzo ( $SiO_2$ ) - composto intermedio K-feldspato ( $KAlSi_3O_8$ )



## Cristallizzazione all'equilibrio

Partenza:

Liquido  $L_1$  (o qualsiasi  $L$  la cui composizione cade all'interno del tratto Leucite-K-feld), i prodotti finali della cristallizzazione saranno leucite + K-feldspato. La cristallizzazione inizia a  $T_1$ ; da  $T_1$  a  $T_P$  cristallizza leucite e il liquido si arricchisce in  $SiO_2$ .

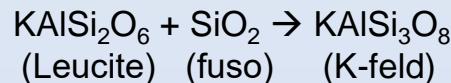
A  $T_P$ , cioè al punto P, il liquido  $L_P$  è diventato troppo ricco in  $SiO_2$  affinché la leucite resti in equilibrio con esso: si ha quindi una reazione leucite + liquido  $L_P$  = K-feldspato (la leucite viene riassorbita dal liquido per produrre K-feld).

Siccome la quantità di leucite prodotta lungo il tratto  $T_1-T_P$  è superiore (70%) alla quantità di liquido (30%) che arriva in  $T_P$  (regola della leva), non tutta la leucite verrà riassorbita ma solo una parte.

In P,  $V = 0$  (3 fasi), la T resterà bloccata fino a quando tutto il liquido  $L_P$  sarà consumato nella reazione.

**La cristallizzazione finisce in P. I solidi finali sono leucite + K-feldspato.**

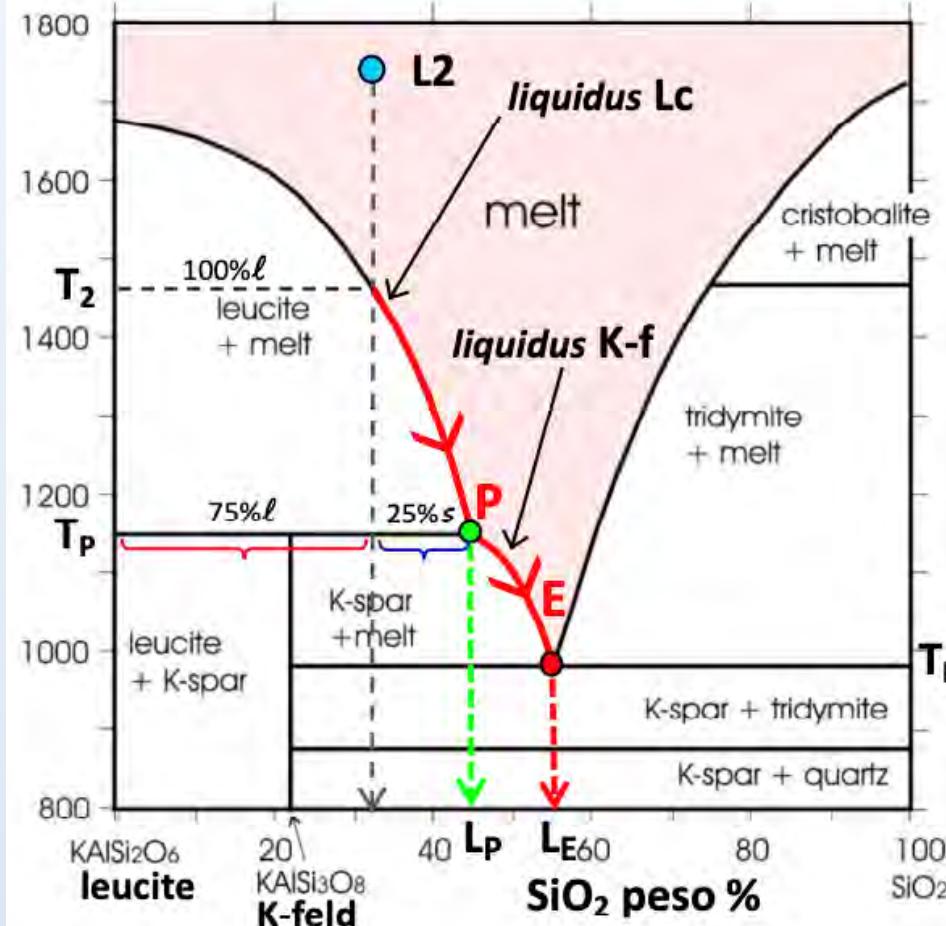
Al punto peritettico (P) si avrà la reazione



A fine reazione bisognerà avere due fasi solide: Leucite (27 wt%) e K-feld (73 wt%)

# Sistema a 2 componenti con composto intermedio e punto peritettico

Leucite ( $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ ) - quarzo ( $\text{SiO}_2$ ) - composto intermedio K-feldspato ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )



## Cristallizzazione all'equilibrio

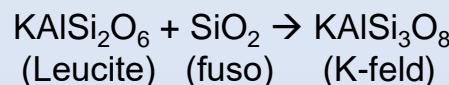
Partenza: liquido  $L_2$  o qualsiasi  $L$  la cui composizione cade all'interno del tratto K-feld-L<sub>P</sub>  
I prodotti finali della cristallizzazione saranno K-felds+quarzo.

Da  $T_2$  a  $T_P$  cristallizza leucite e il liquido si arricchisce in  $\text{SiO}_2$ . A  $T_P$ , cioè in P, il liquido  $L_P$  è diventato troppo ricco in  $\text{SiO}_2$  affinché la leucite resti in equilibrio con esso: reazione leucite + liquido  $L_P \rightarrow$  K-feldspato; la leucite viene riassorbita dal liquido per produrre K-feld.

Siccome ora la quantità di leucite prodotta nel tratto  $T_2-T_P$  è inferiore (25%) alla quantità di liquido (75%) che arriva in  $T_P$ , tutta la leucite verrà riassorbita. Scomparsa la leucite, il liquido prosegue ( $V=1$ ) cristallizzando K-feld fino ad arrivare in E, dove cristallizzano insieme K-feld + quarzo.

La cristallizzazione finisce in E.  
I solidi finali sono K-feld + quarzo

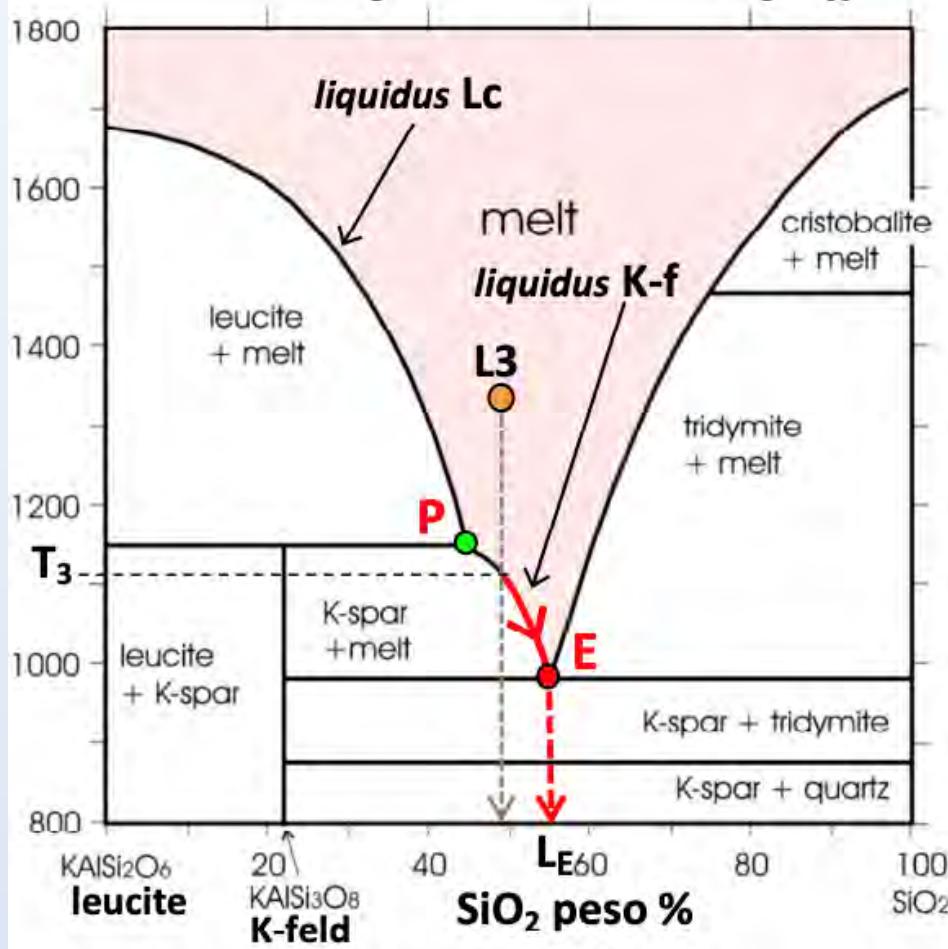
Al punto peritettico (P) si avrà la reazione



A fine reazione bisognerà avere due fasi solide: K-feld (55 wt%) e fuso (45 wt%)

# Sistema a 2 componenti con composto intermedio e punto peritettico

Leucite ( $KAlSi_2O_6$ ) - quarzo ( $SiO_2$ ) - composto intermedio K-feldspato ( $KAlSi_3O_8$ )



## Cristallizzazione all'equilibrio

Partenza: liquido  $L_3$  o qualsiasi  $L$  la cui composizione cade all'interno del tratto P-E.

I prodotti finali della cristallizzazione saranno K-feld + quarzo.

Per  $L_3$ , inizio cristallizzazione a  $T_3$ ; da  $T_3$  a  $T_E$  cristallizza K-feld e il liquido si arricchisce in  $SiO_2$ .

Quando il liquido arriva in E ( $V=0$ ; 3 fasi) cristallizzano insieme K-feld + quarzo.

La cristallizzazione finisce in E.

I prodotti finali sono K-feld + quarzo.

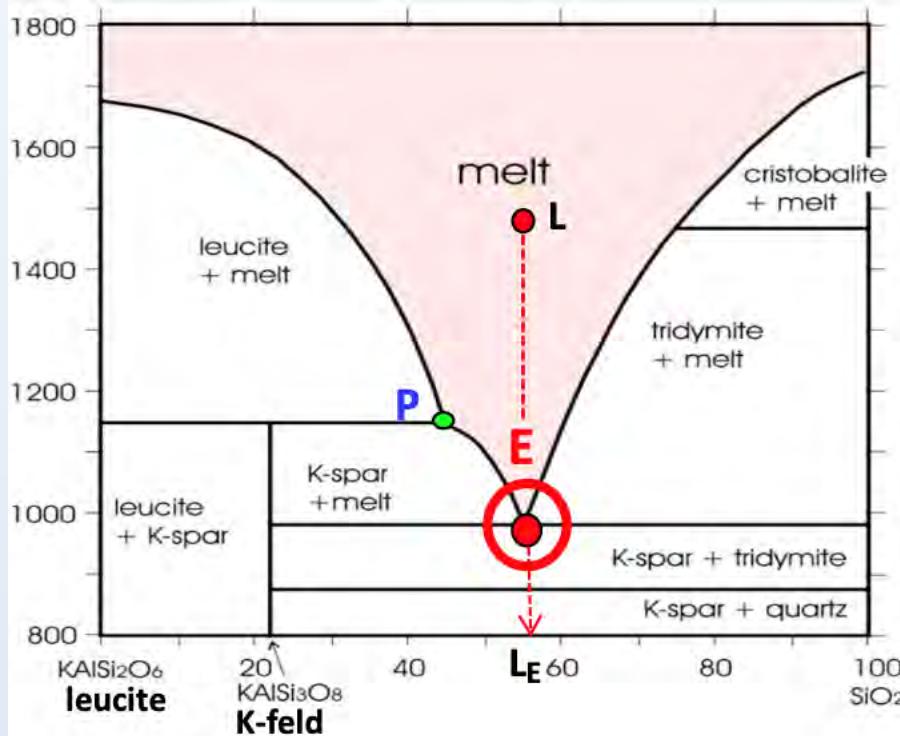
La cristallizzazione non viene interessata da una reazione peritettica

Implicazione generale (a prescindere dal liquido iniziale) →

**Leucite e quarzo non possono coesistere**

## Sistema a 2 componenti con composto intermedio e punto peritettico

Leucite ( $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ ) - quarzo ( $\text{SiO}_2$ ) - composto intermedio K-feldspato ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )



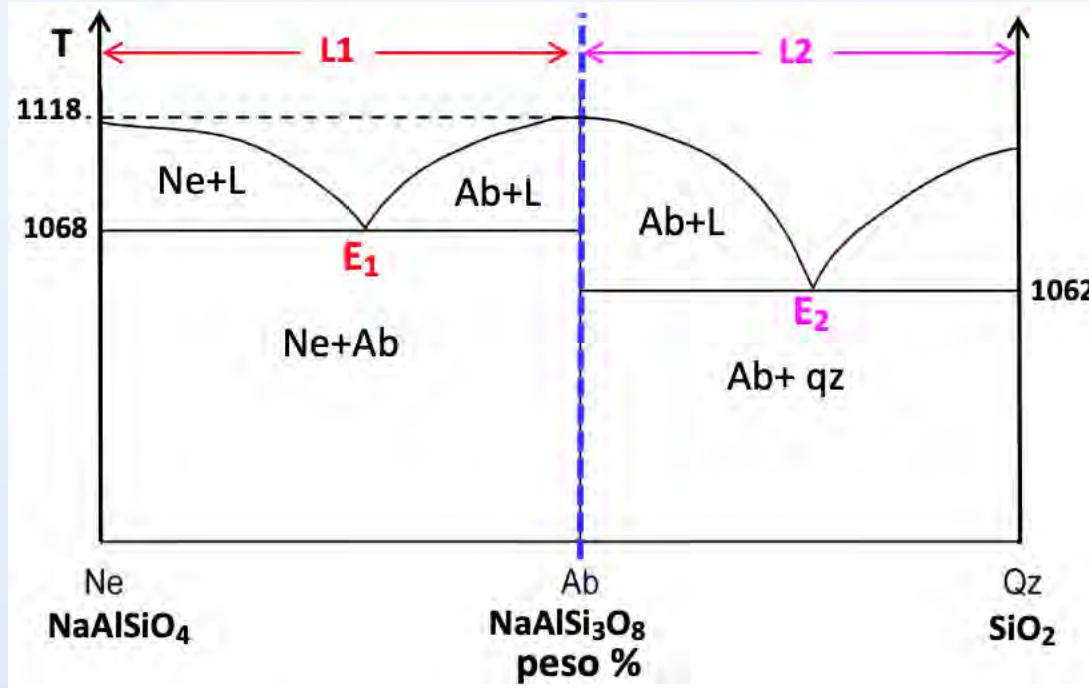
Per magmi ricchi in  $\text{SiO}_2$  (granitici) di composizione eutettica la cristallizzazione contemporanea di K-feldspato + quarzo produce la struttura grafica



granito grafico-macro particolare

# Sistema a 2 componenti con composto intermedio con due eutettici (semplificato)

Nefelina ( $\text{NaAlSiO}_4$ ) - quarzo ( $\text{SiO}_2$ ) - composto intermedio Albite ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )



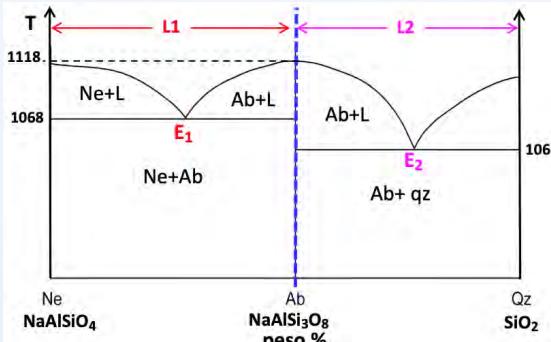
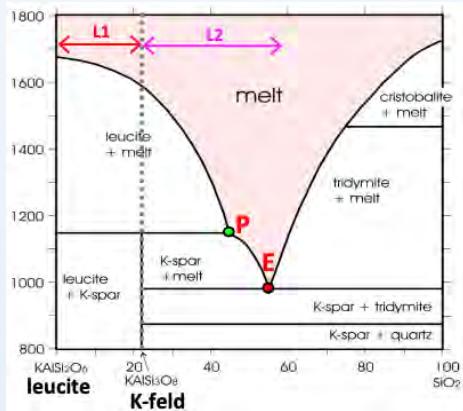
Il composto intermedio Albite divide in due il diagramma Nefelina –  $\text{SiO}_2$ , quindi il diagramma va letto come due sistemi accostati, ognuno con un relativo punto eutettico.

Per liquidi di partenza con composizione compresa nell'intervallo  $L_1$  (che cadono all'interno del segmento Ne-Ab) la cristallizzazione finisce in  $E_1$  con produzione di Nefelina + Albite.

Per liquidi di partenza con composizione compresa nell'intervallo  $L_2$  (che cadono all'interno del segmento Ab-quarzo) la cristallizzazione finisce in  $E_2$  con produzione di Albite + quarzo

Implicazioni : Nefelina e quarzo non possono coesistere

# Significato dei diagrammi Leucite/Nefelina (feldspatoidi) - $\text{SiO}_2$

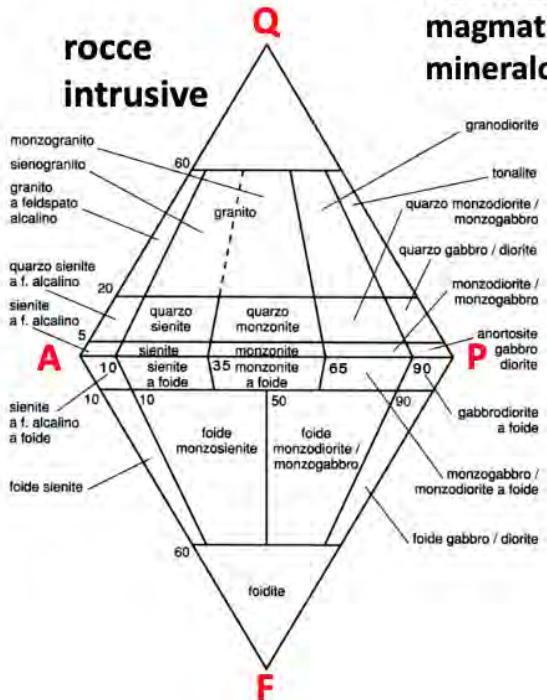


In funzione della composizione del liquido di partenza i solidi finali sono:

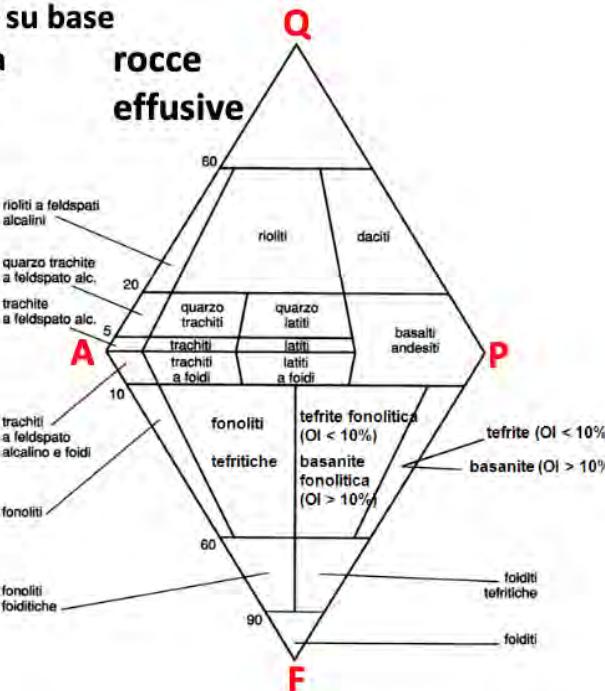
- Leucite/Nefelina + feldspato alcalino oppure
- Quarzo + feldspato alcalino

Non è possibile avere quarzo e feldspatoidi che coesistono in equilibrio

## classificazione rocce magmatiche su base mineralogica



## rocce effusive



Classificazione delle rocce magmatiche (doppio triangolo con Q e F ai vertici opposti)

**Q** = quarzo

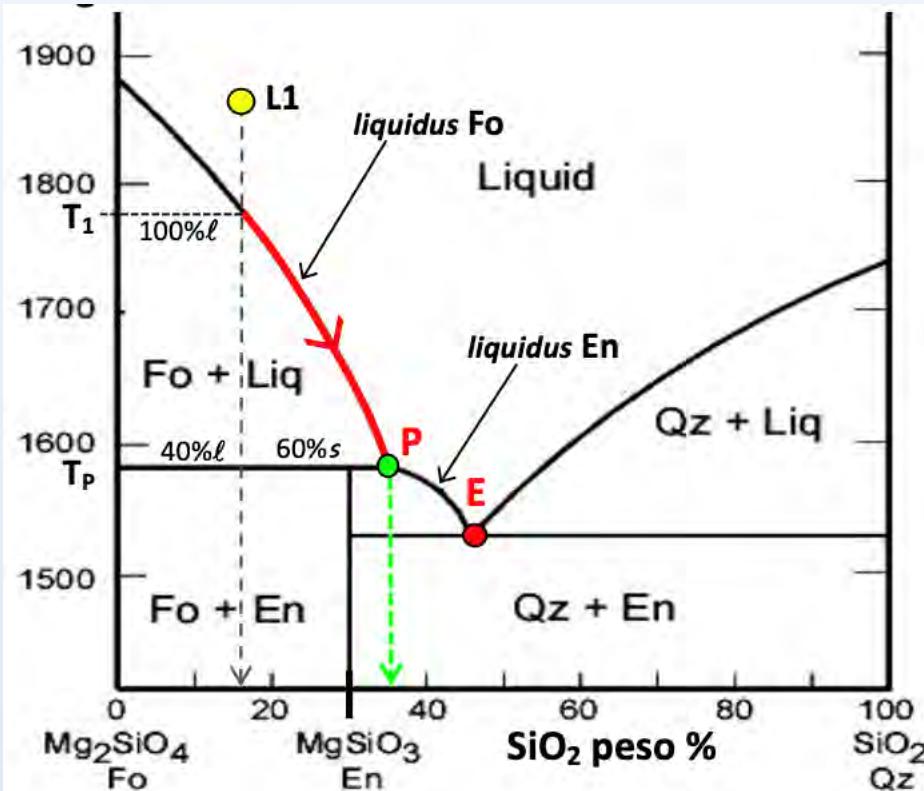
**F** = feldspatoidi

**A** = alcali-feldspati  
( $\text{KAIS}_3\text{O}_8$  –  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )

**P** = plagioclasi (Ca-Na feldspati) ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$  –  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )

# Sistema a 2 componenti con composto intermedio e punto peritettico

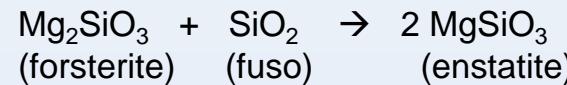
Forsterite ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) - quarzo ( $\text{SiO}_2$ ) - composto intermedio enstatite ( $\text{MgSiO}_3$ )



Sistema Fo-SiO<sub>2</sub> a bassa P

Cristallizzazione all'equilibrio

Nel punto peritettico ( $V = 0$ ) si ha:



Nel punto eutettico ( $V = 0$ ) si ha cristallizzazione di enstatite + quarzo.

Diagramma analogo a quello con Leucite – SiO<sub>2</sub>

Partenza: liquido L<sub>1</sub> o qualsiasi L la cui composizione cade all'interno del tratto Fo-En.

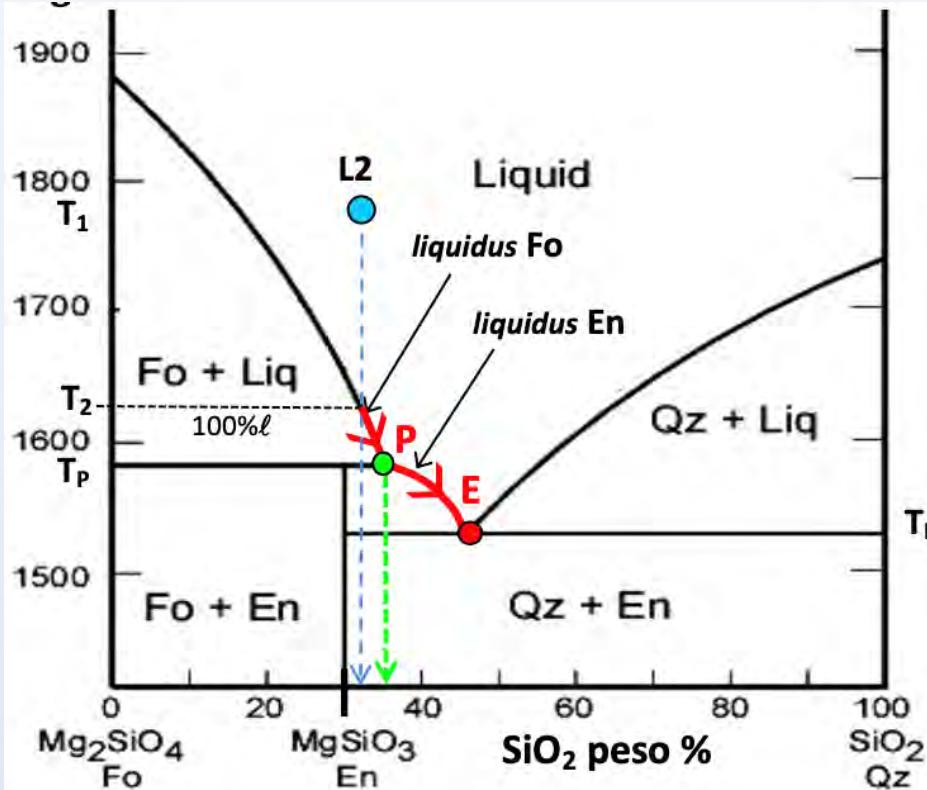
I solidi finali saranno Fo + En.

Da T<sub>1</sub> a T<sub>P</sub> cristallizza Fo e il liquido si arricchisce in SiO<sub>2</sub>. A T<sub>P</sub>: reazione forsterite + liquido L<sub>P</sub> → enstatite; l'olivina è riassorbita dal liquido per produrre enstatite. Siccome la quantità di olivina prodotta lungo il tratto T<sub>1</sub>-T<sub>P</sub> è superiore (60%) alla quantità di liquido (40%) che arriva in T<sub>P</sub>, non tutta l'olivina verrà riassorbita ma solo una parte.

**La cristallizzazione finisce in P. I prodotti finali sono forsterite + enstatite**

# Sistema a 2 componenti con composto intermedio e punto peritettico

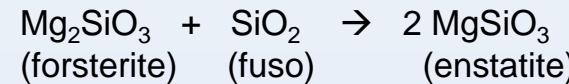
Forsterite ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) - quarzo ( $\text{SiO}_2$ ) - composto intermedio enstatite ( $\text{MgSiO}_3$ )



Sistema Fo- $\text{SiO}_2$  a bassa P

Cristallizzazione all'equilibrio

Nel punto peritettico ( $V = 0$ ) si ha:



Nel punto eutettico ( $V = 0$ ) si ha cristallizzazione di enstatite + quarzo.

Diagramma analogo a quello con Leucite –  $\text{SiO}_2$

Per  $L_2$ , da  $T_2$  a  $T_P$  cristallizza olivina e il liquido si arricchisce in  $\text{SiO}_2$ .

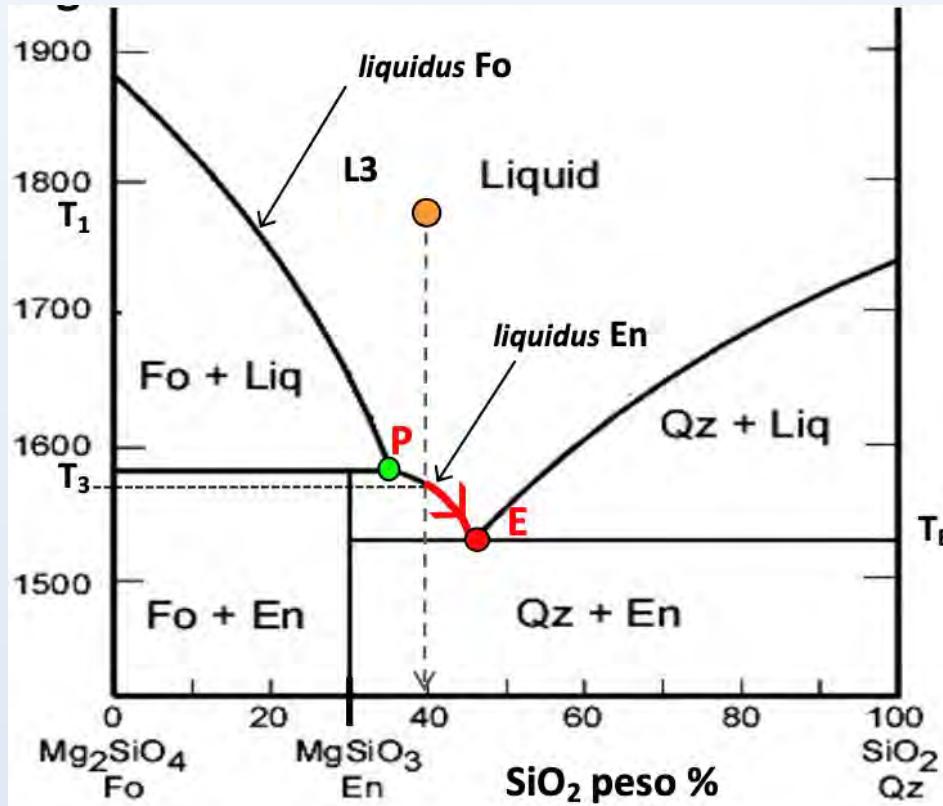
A  $T_P$ , cioè in P, il liquido  $L_P$  è diventato troppo ricco in  $\text{SiO}_2$  affinché l'olivina resti in equilibrio con esso: reazione  $\text{Fo} + \text{liquido } L_P \rightarrow \text{En}$ ; l'olivina è riassorbita dal liquido per produrre enstatite. Siccome ora la quantità di olivina prodotta nel tratto  $T_2-T_P$  è inferiore ( $\approx 10\%$ ) alla quantità di liquido che arriva in  $T_P$ , tutta l'olivina verrà riassorbita. In P ( $V = 0$ , 3 fasi), la T resta bloccata finché tutta l'olivina è scomparsa.

Scomparsa tutta l'olivina, il liquido prosegue ( $V=1$ ), cristallizzando Enstatite e arrivando in E, dove cristallizzano insieme enstatite + quarzo.

La cristallizzazione finisce in E. I prodotti finali sono enstatite + quarzo

# Sistema a 2 componenti con composto intermedio e punto peritettico

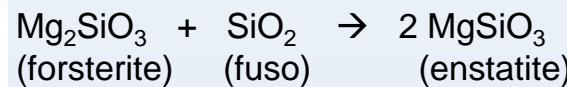
Forsterite ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) - quarzo ( $\text{SiO}_2$ ) - composto intermedio enstatite ( $\text{MgSiO}_3$ )



Sistema Fo- $\text{SiO}_2$  a bassa P

Cristallizzazione all'equilibrio

Nel punto peritettico ( $V = 0$ ) si ha:



Nel punto eutettico ( $V = 0$ ) si ha cristallizzazione di enstatite + quarzo.

Diagramma analogo a quello con Leucite –  $\text{SiO}_2$

Per L<sub>3</sub>: da  $T_3$  a  $T_E$  cristallizza enstatite e il liquido si arricchisce in  $\text{SiO}_2$ .

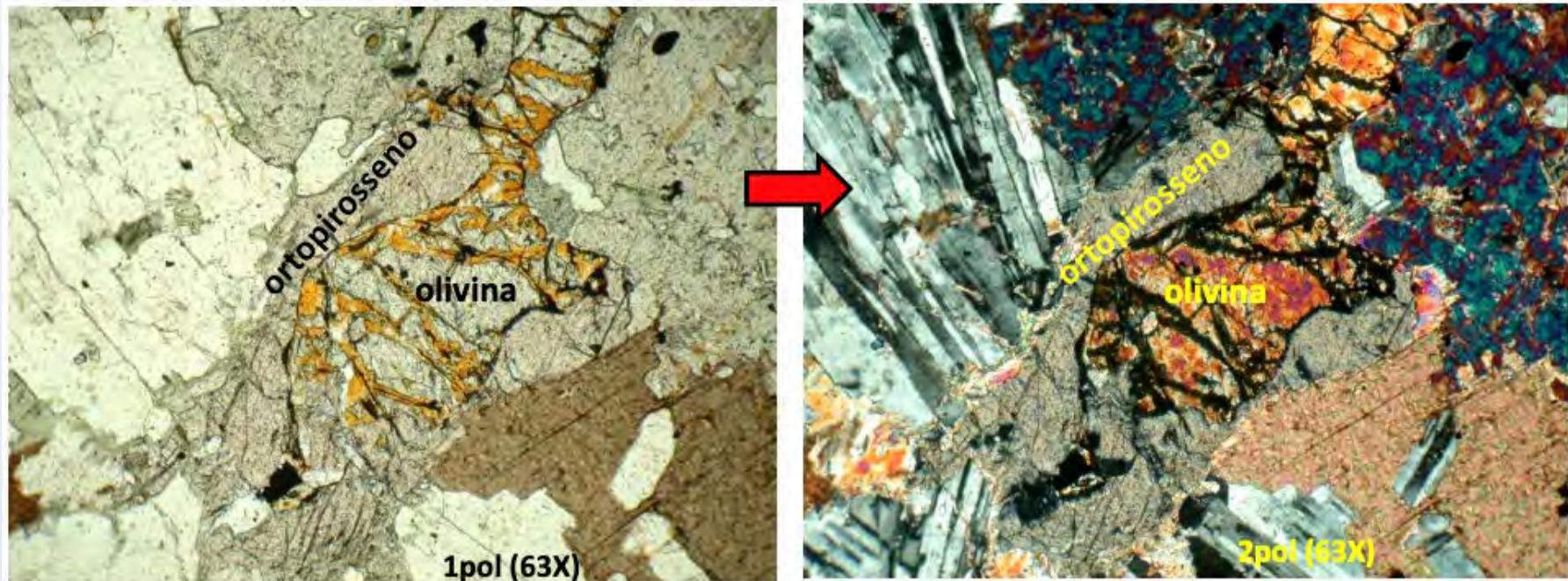
Quando il liquido arriva in E ( $V=0$ ; 3 fasi) cristallizzano insieme enstatite + quarzo.

La cristallizzazione finisce in E. I prodotti finali sono enstatite + quarzo.

Nessuna reazione peritettica.

## Sistema a 2 componenti con composto intermedio e punto peritettico

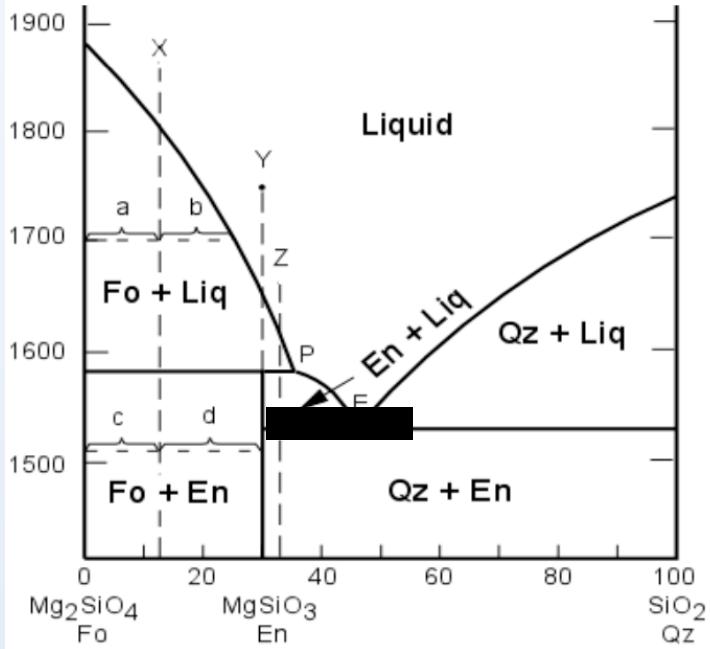
Forsterite ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) - quarzo ( $\text{SiO}_2$ ) - composto intermedio enstatite ( $\text{MgSiO}_3$ )



Significato petrologico dei diagramma Fo- $\text{SiO}_2$  :

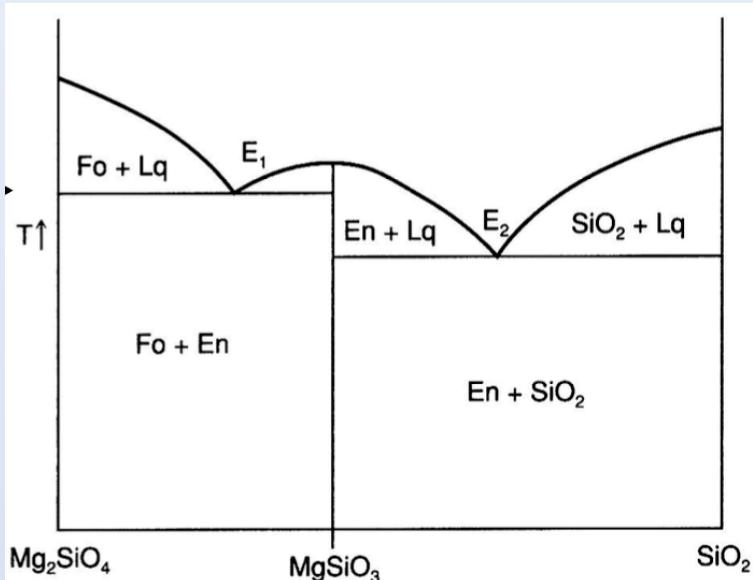
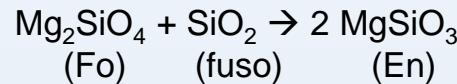
Per una cristallizzazione all'equilibrio  
olivina e quarzo **NON** possono coesistere

## Il sistema Fo - SiO<sub>2</sub> a diverse pressioni



Sistema Fo – SiO<sub>2</sub> a bassa P (<5 Kbar)

Produzione di un composto intermedio (enstatite) nel punto peritettico P.



Sistema Fo – SiO<sub>2</sub> ad alta P (~ 10 Kbar)  
(relazione schematica)

L'ortopirosseno non è più in relazione incongruente con l'olivina, ma costituisce una barriera termica. Si generano due eutettici E<sub>1</sub> (liquidi sottosaturati in SiO<sub>2</sub>) ed E<sub>2</sub> (liquidi sovrasaturati in SiO<sub>2</sub>)

# Il sistema Fo - SiO<sub>2</sub> a diverse pressioni

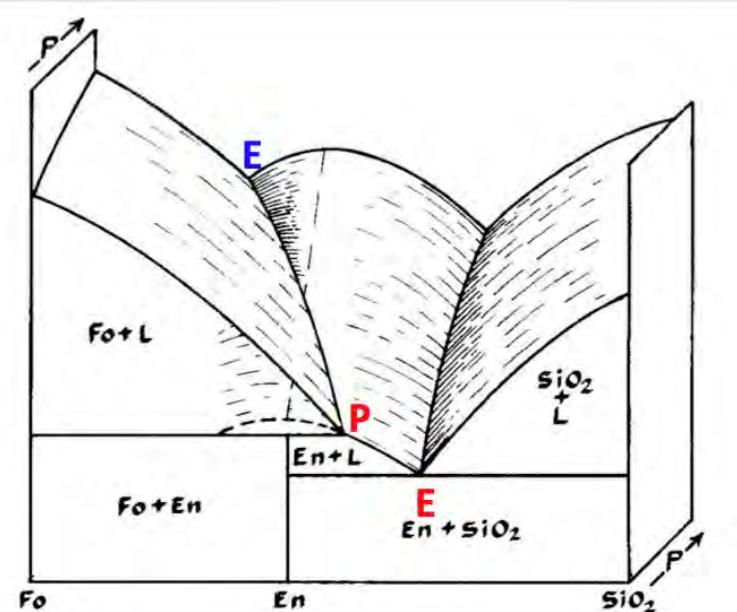
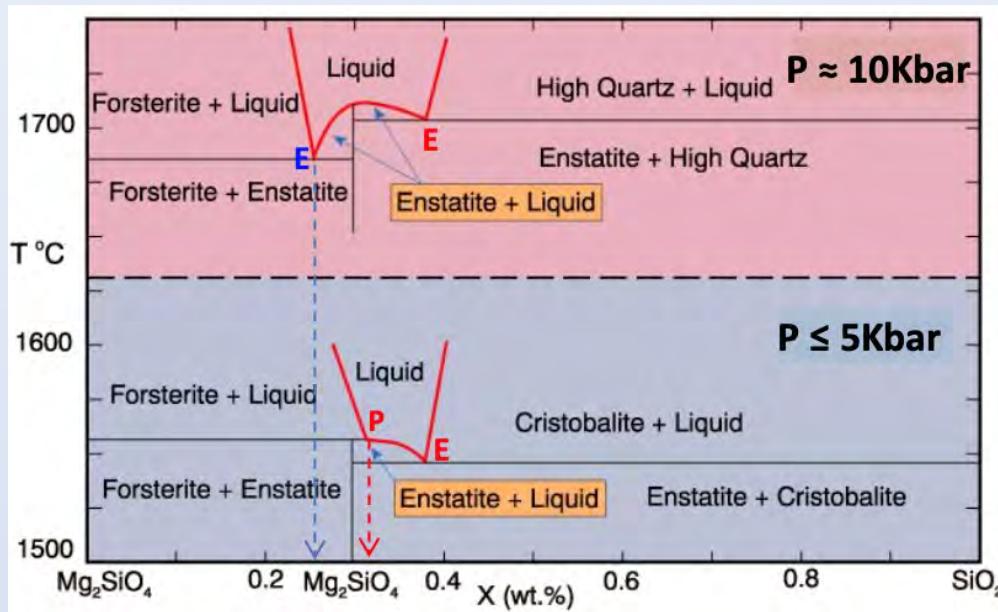


Illustrazione schematica dell'effetto della pressione sul sistema forsterite-silice. La pressione aumenta più la T di liquidus dell'enstatite che quella della forsterite, ingrandendo il campo di stabilità della forsterite e ingrandendo quello dell'enstatite. Allo stesso tempo, il punto peritettico si sposta verso contenuti in silice più bassi fino ad oltrepassare la composizione dell'enstatite ed a diventare un eutettico.



Conseguenza petrologica/geologica:

La fusione di un assemblaggio di ol+en (peridotite) produce ad alta pressione magmi più poveri in silice (SiO<sub>2</sub>-sottosaturi; fusione in E) rispetto a quelli prodotti a bassa pressione (fusione in P).