

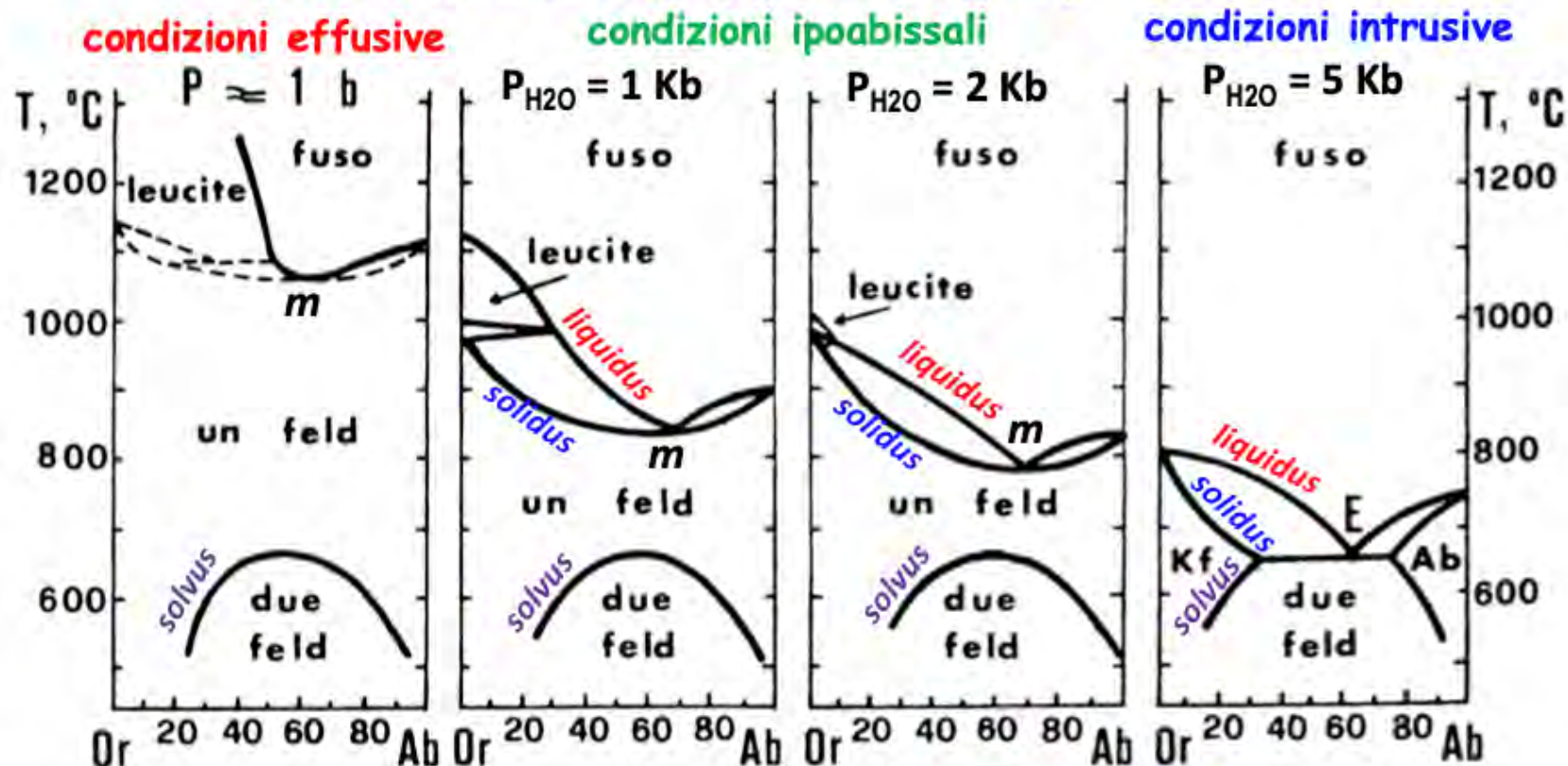
Sistema binario con componenti parzialmente o totalmente miscibili allo stato solido

K-feldspato - Albite

K-feldspato (KAlSi_3O_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 ρ graniti $\approx 2.7\text{ g/cm}^3$)

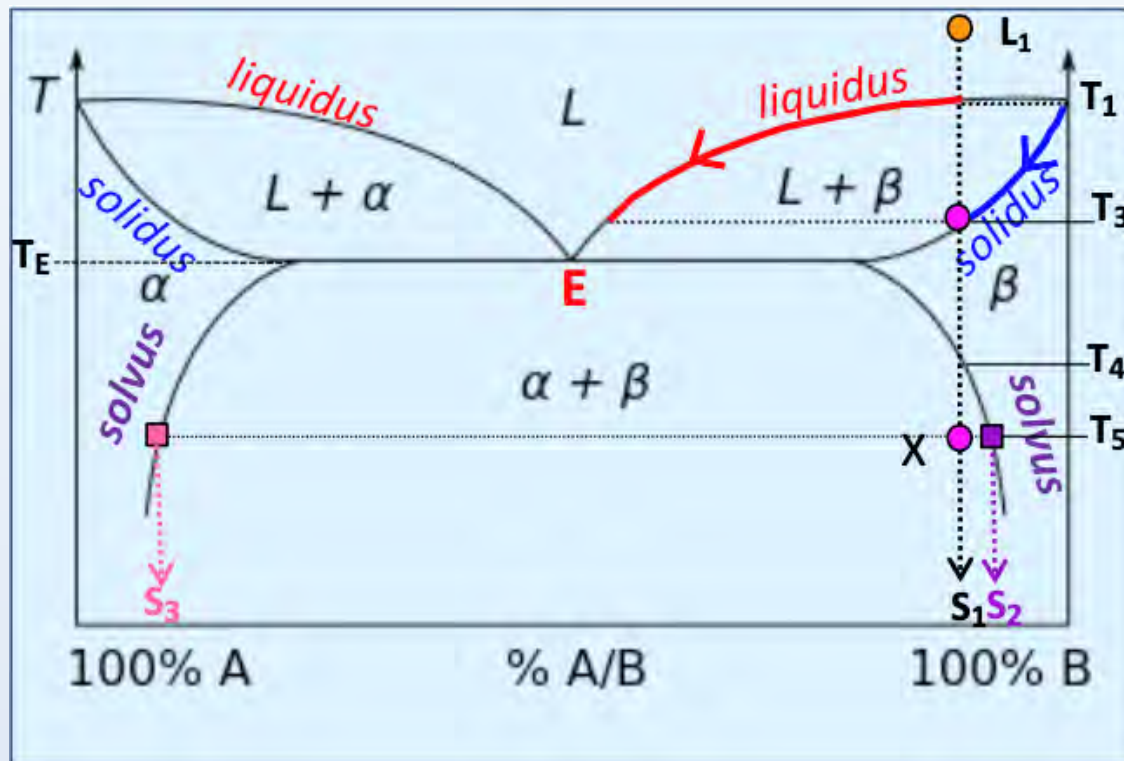


L'aumento della $P_{\text{H}_2\text{O}}$ abbassa le T di **liquidus** e **solidus**



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

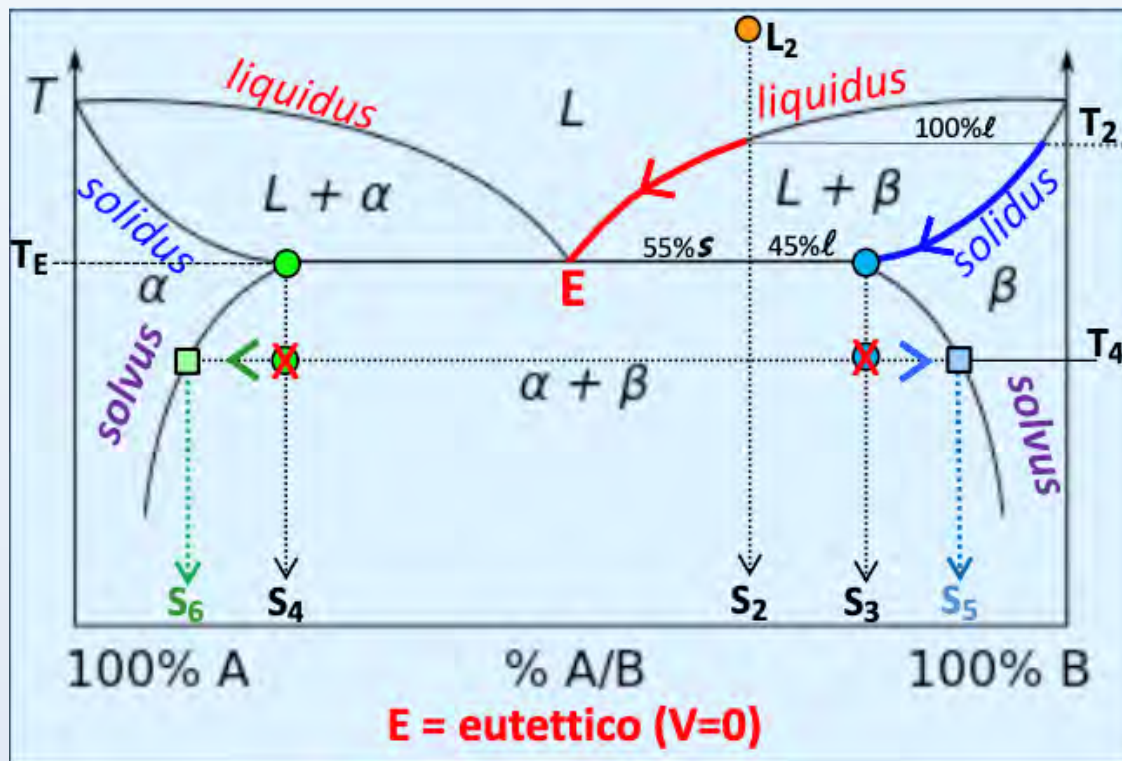
α, β = soluzioni solide

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 β via via cambia e per una cristallizzazione all'equilibrio il solido finale β ha composizione $S_1 = L_1$.

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

α , β = 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 β 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 β di composizione S_3 e la fase α di composizione S_4 . La T resta fissa a T_E ($V=0$, 3 fasi !!) fino a quando tutto il liquido è cristallizzato.

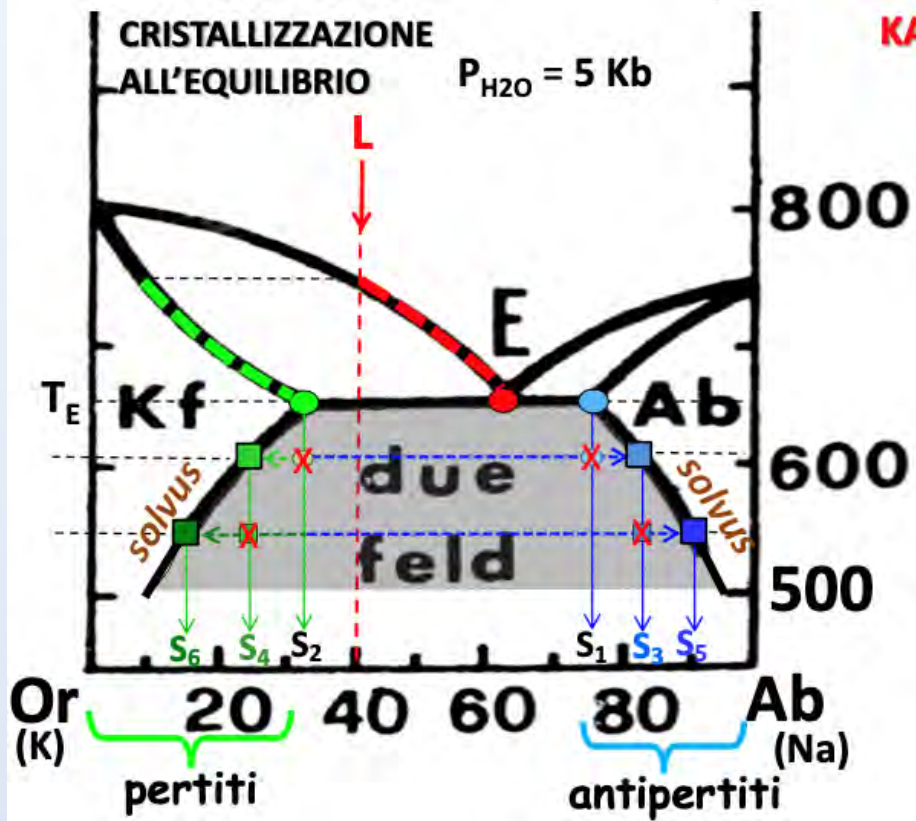
Durante il raffreddamento, per es. a T_4 , né la fase β di composizione S_3 né la fase α di composizione S_4 sono in equilibrio alla T_4 (cadono all'interno del solvus!). Il processo di equilibratura comporta che il solido S_3 cambia la sua composizione in S_5 essolvendo il componente α di composizione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

Sistema K-feldspato - Albite

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

K-feldspato (KAlSi_3O_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°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:

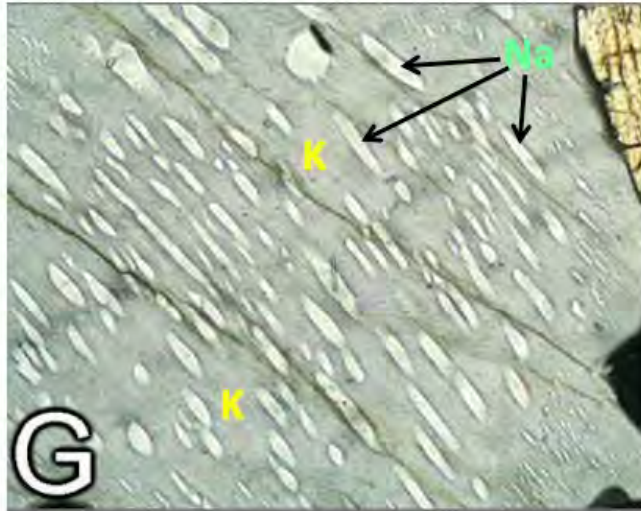
A $T=600^\circ\text{C}$, il K-feldspato di composizione S_2 passa a composizione S_4 essolvendo (smistando) Na-feldspato di composizione S_3 . A 550°C passa a composizione S_6 essolvendo K-feldspato di composizione S_5 .

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

Sistema K-feldspato - Albite

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

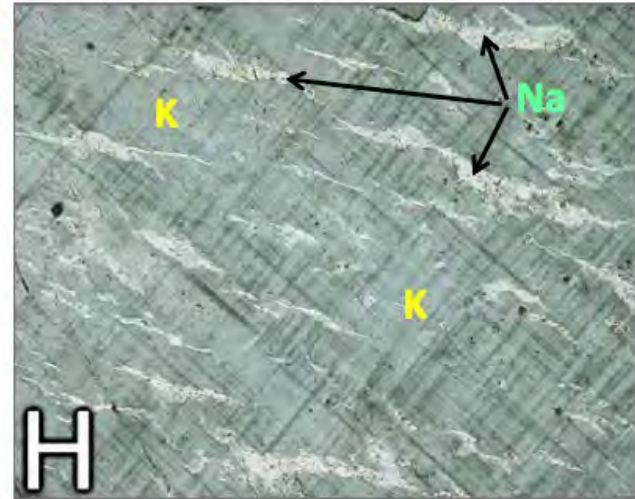
Feldspato pertitico: : K-feldspato con smistamenti di Na-feld (chiazze chiare)



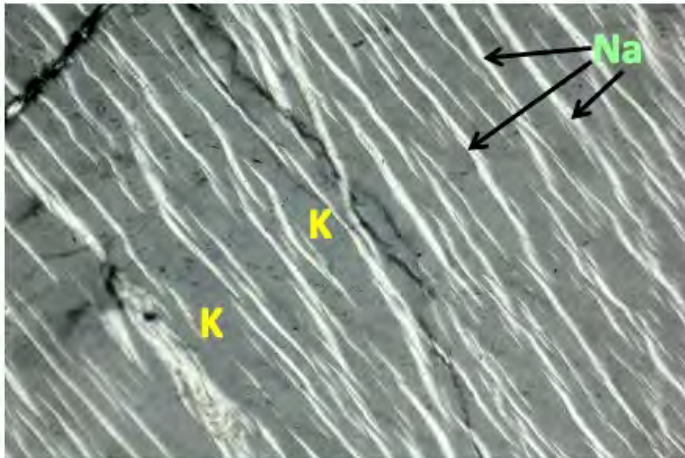
**IN ROCCE
INTRUSIVE**

Al
microscopio:
2 polarizzatori

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

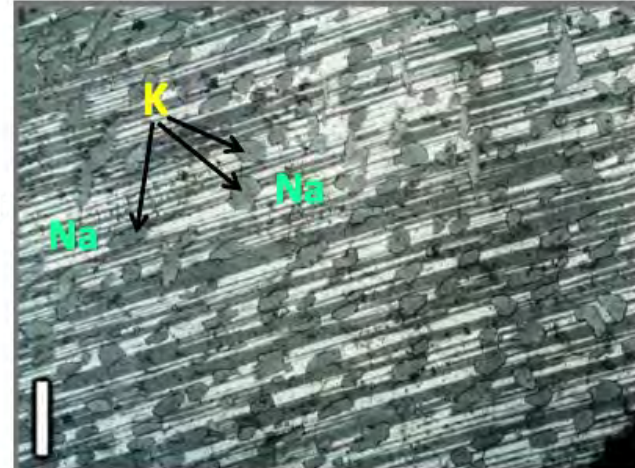


Feldspato pertitico: K-feldspato con smistamenti di Na-feld (vene chiare)



Al
microscopio:
2 polarizzatori

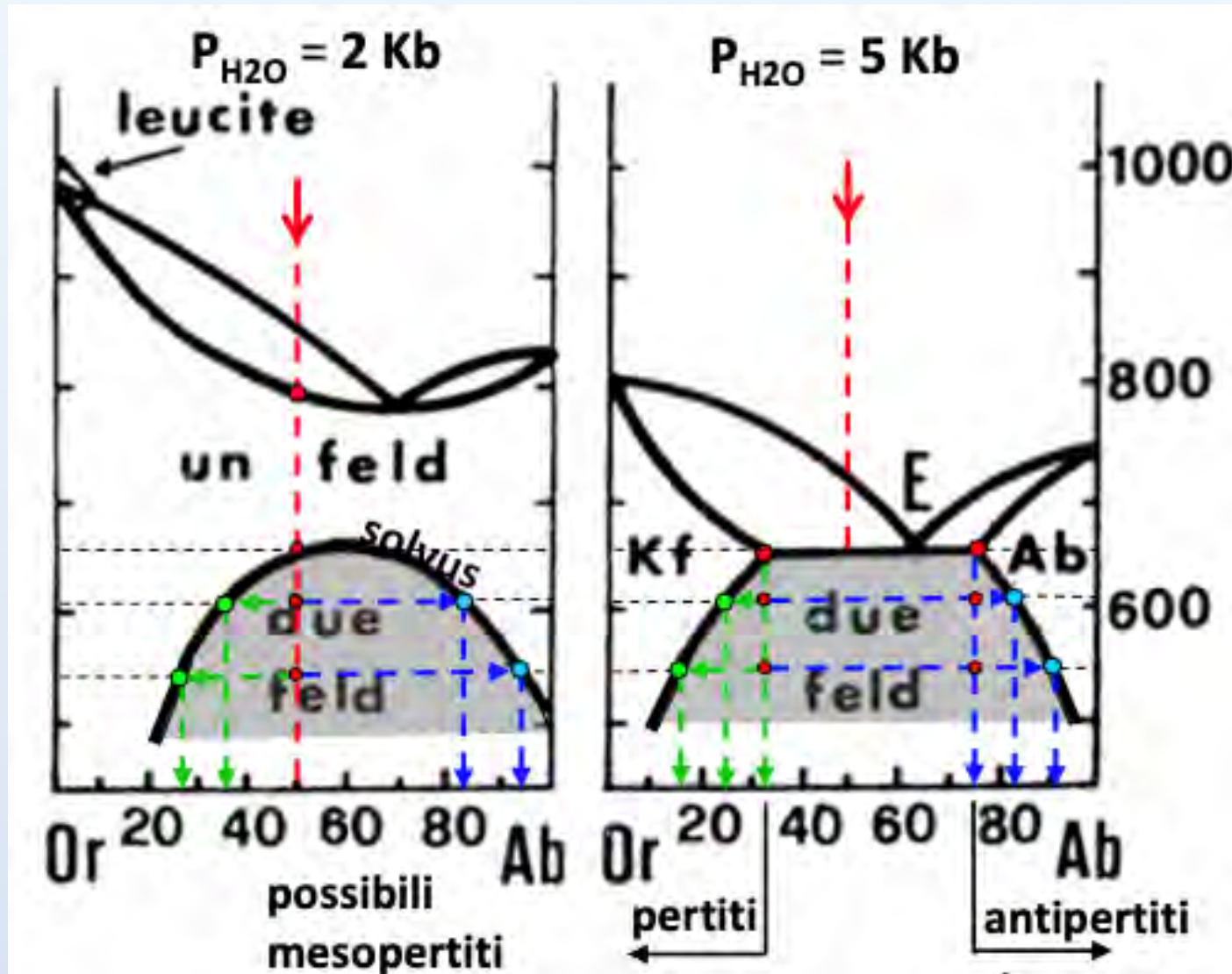
Feldspato antipertitico: Na-feld (con geminazioni polisintetiche) con smistamenti di K-feld (chiazze)



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

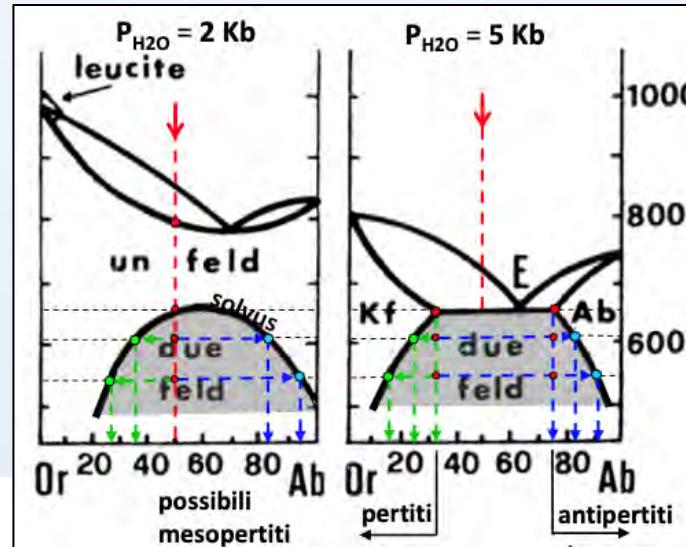


Diagramma dei feldspati con riportato il campo di immiscibilità (= lacuna di miscibilità)

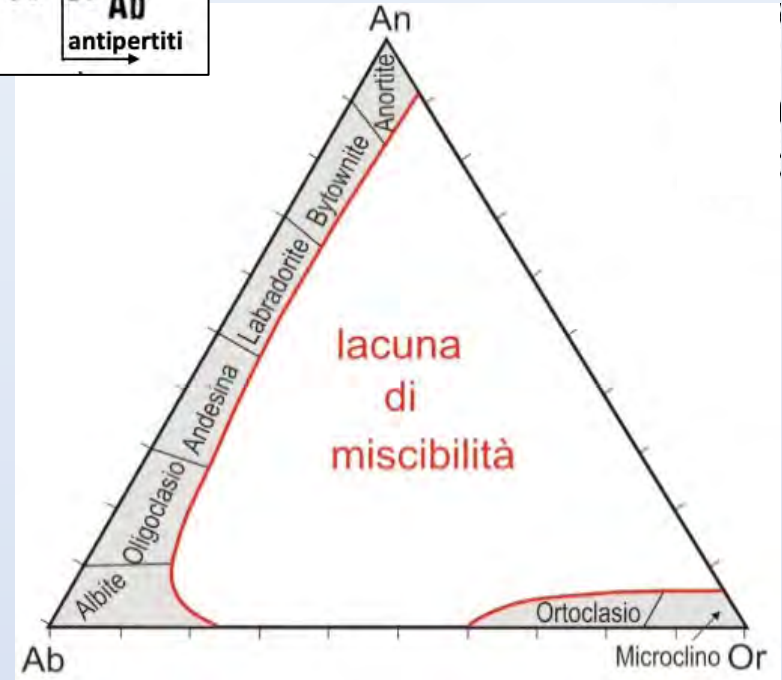
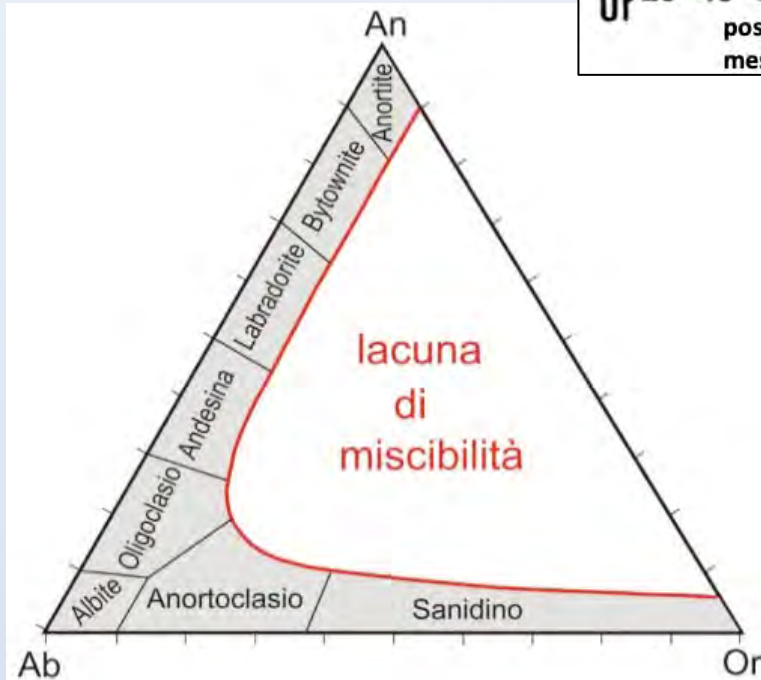
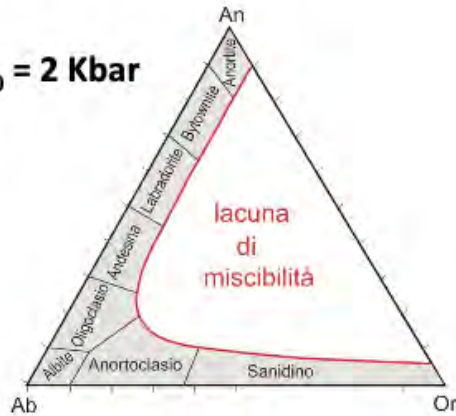


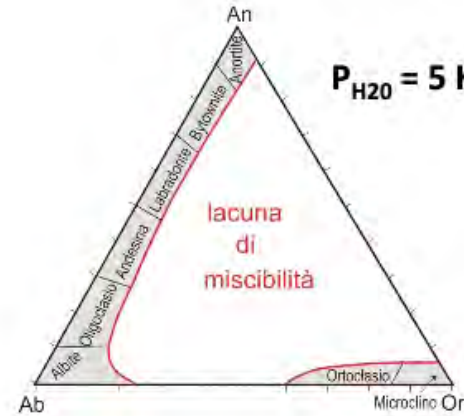
Diagramma ternario dei feldspati


$P_{H_2O} = 2 \text{ Kbar}$

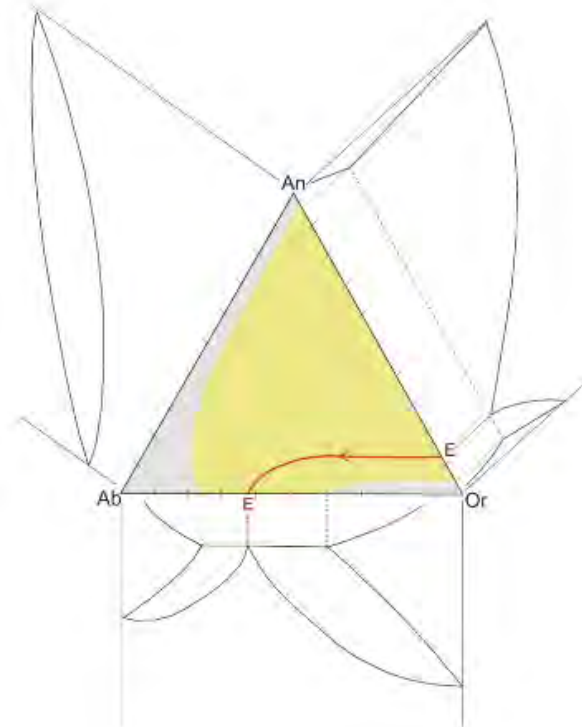
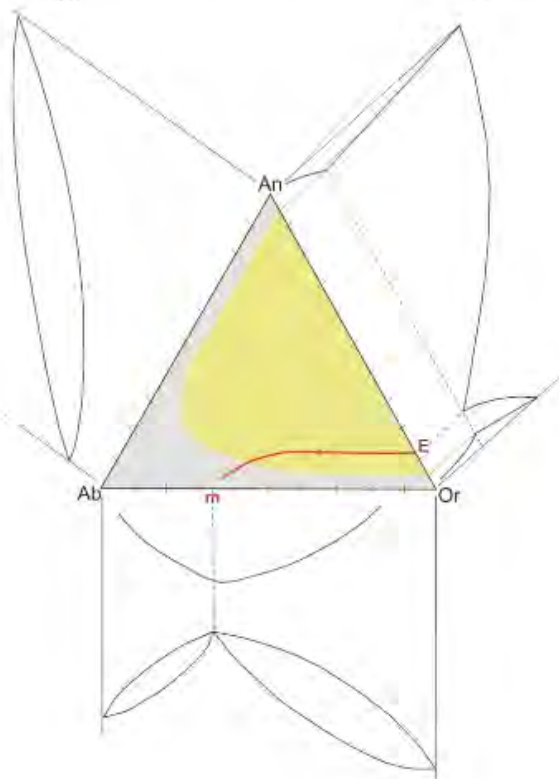


 campo di immiscibilità allo stato solido tra Or-Ab-An

$P_{H_2O} = 5 \text{ Kbar}$



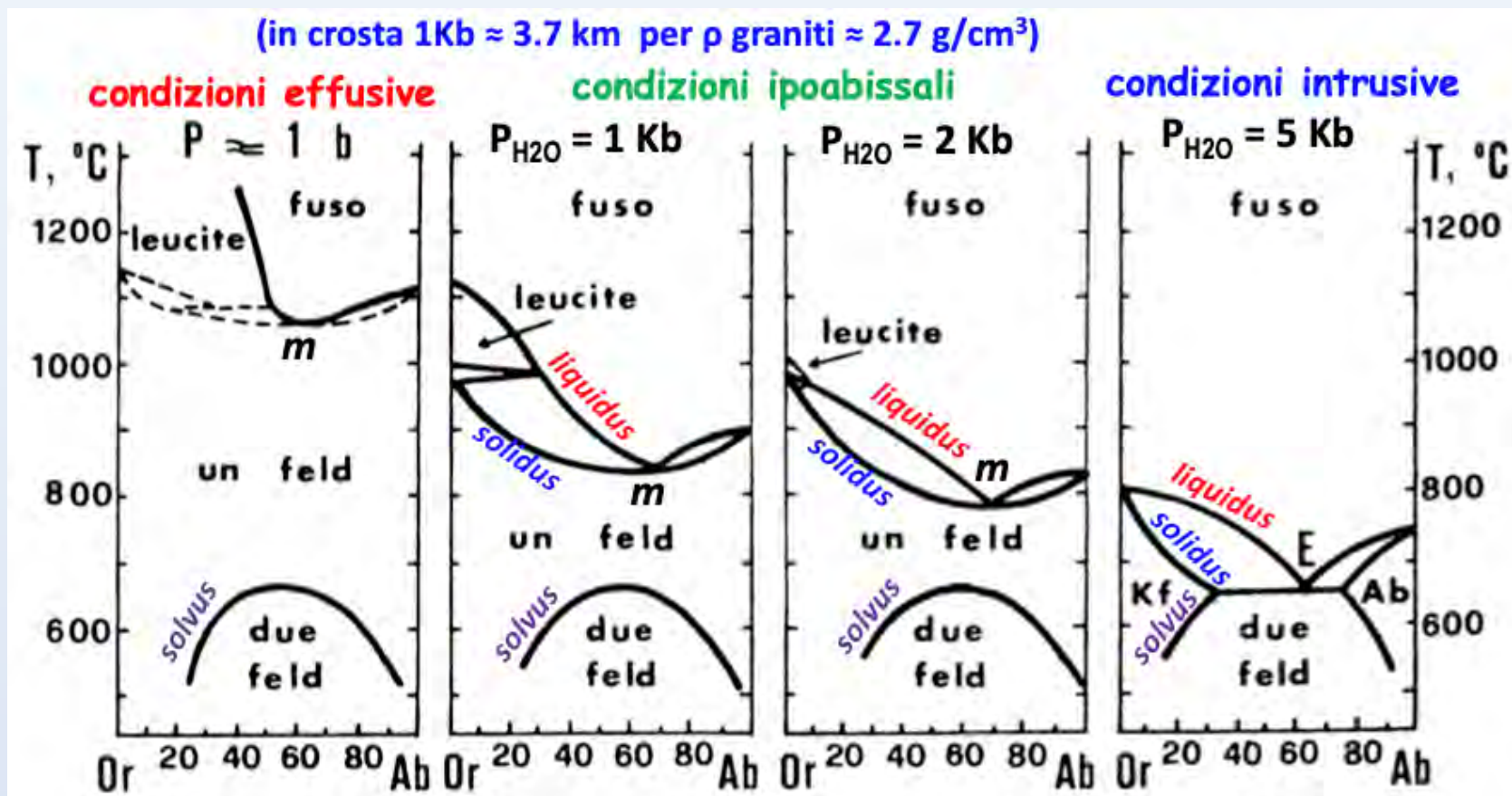
 campo di immiscibilità allo stato solido tra Or-Ab-An



Sistema K-feldspato - Albite

K-feldspato (KAlSi_3O_8) – Albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)

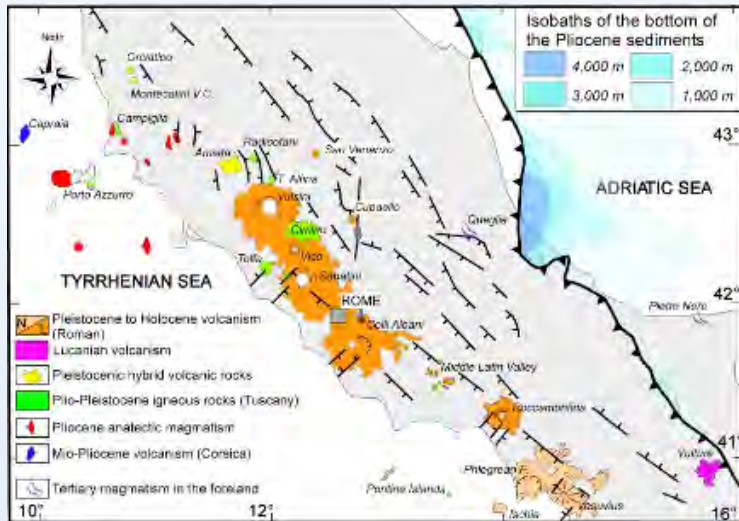
Soluzione solida a miscibilità completa ad alte T e basse P e a miscibilità parziale a bassa T e alta $P_{\text{H}_2\text{O}}$



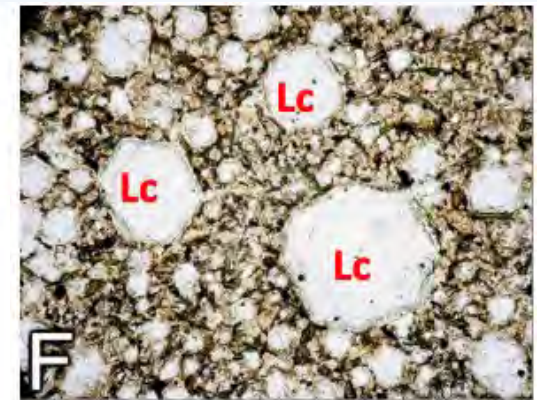
Il campo della leucite (feldspatoide KAlSi_2O_6) si riduce fino a scomparire già a 2 kbar.

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

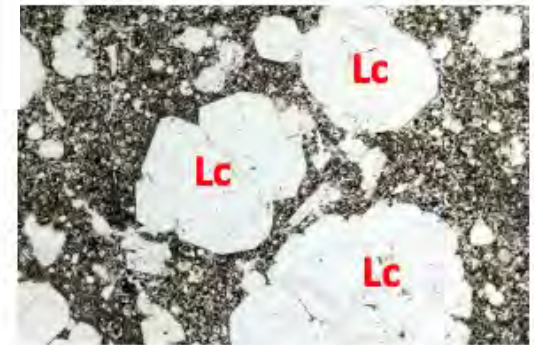
Esempi



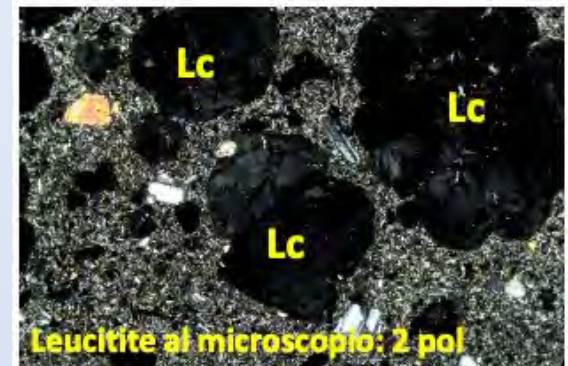
Provincia magmatica Romana: formata da vulcani (Vulsini, Sabatini e Colli Albani), ora caldere-laghi, attivi tra ~760.000 e ~12.000 anni fa. Oltre a prodotti piroclastici (tufi-ignimbriti) l'attività vulcanica ha prodotto lave ricche in leucite (leucititi) utilizzate fin dai tempi dei Romani per pavimentazioni.



Leucite al microscopio: 1 pol

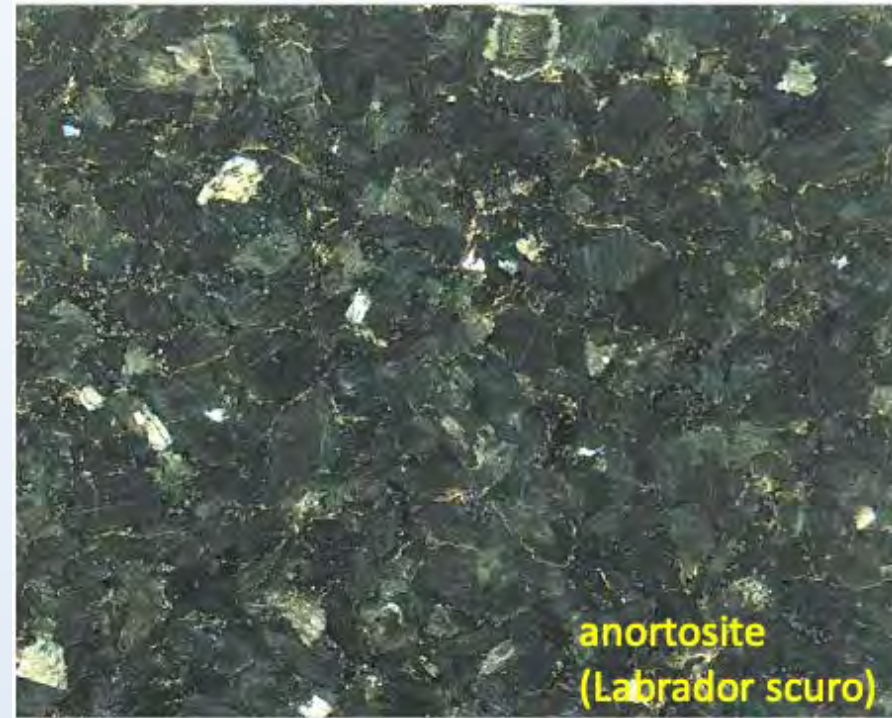
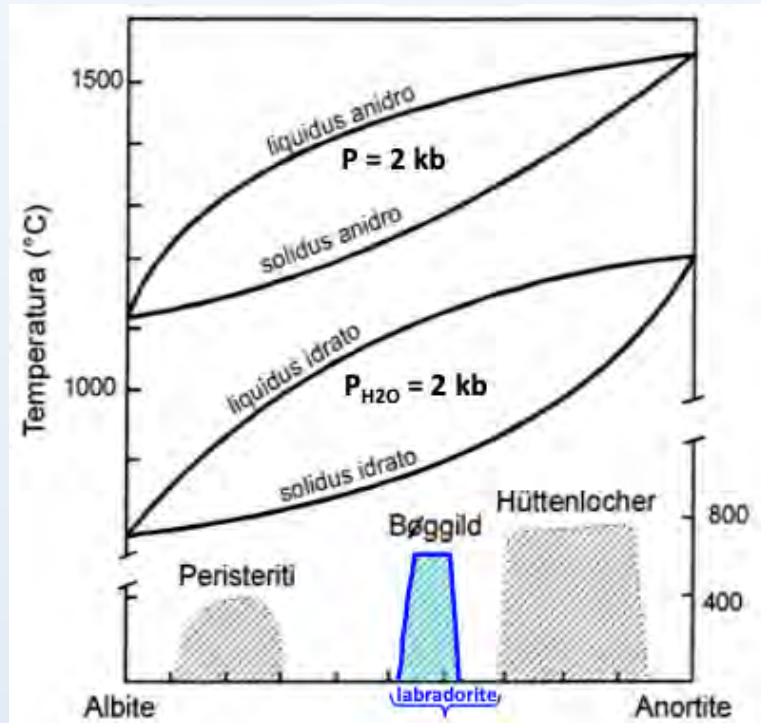


Leucite al microscopio: 1 pol



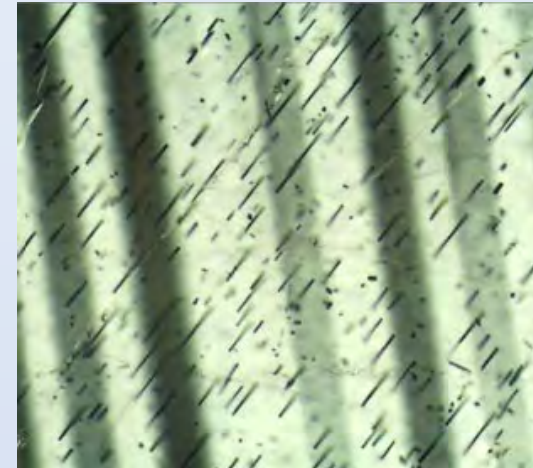
Leucite al microscopio: 2 pol

Plagioclasì – smistamenti submicroscopici



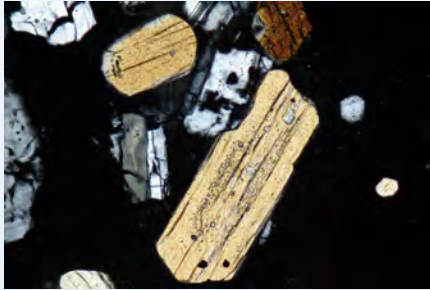
La miscibilità tra An e Ab è completa ad alta T, mentre a bassa T esistono dei piccoli campi di immiscibilità (*solvus*, che producono smistamenti submicroscopici), alcuni dei quali (*Bøggild*) danno origine all'*iridescenza* macroscopica dei plagioclasì nota come *labradorescenza*.

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

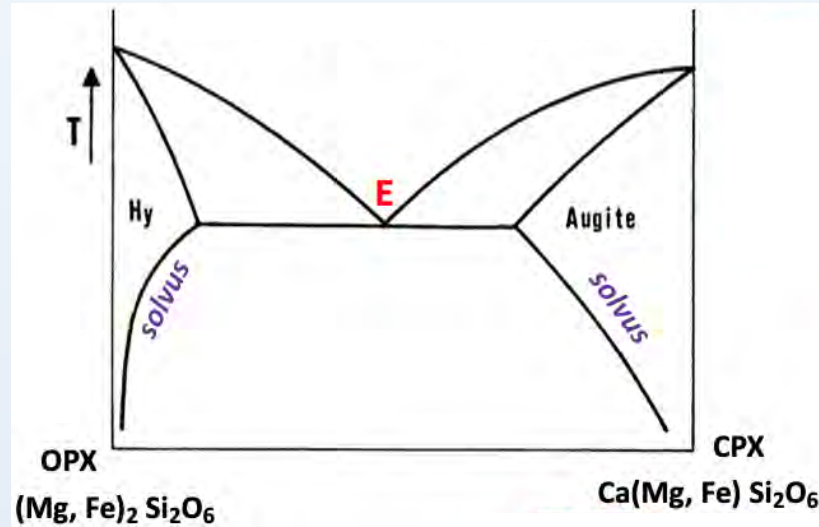


Sistema binario con componenti parzialmente miscibili allo stato solido

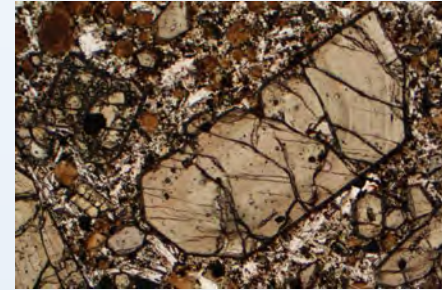
Ortopirosseno - Clinopirosseno



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



Ortopirosseno con
lamelle di essoluzione
di clinopirosseno

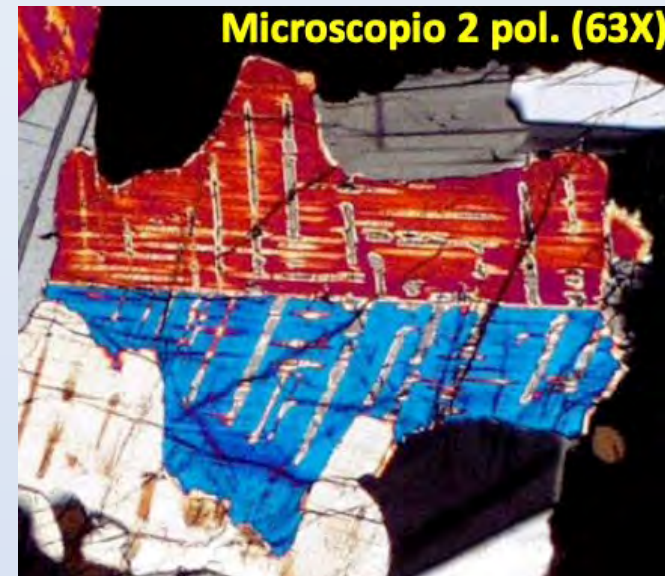


Clinopirosseno (2 pol., ~ 20x)
(<https://www.alexstrekeisen.it/english/vulc/ortho/pyroxene.php>)

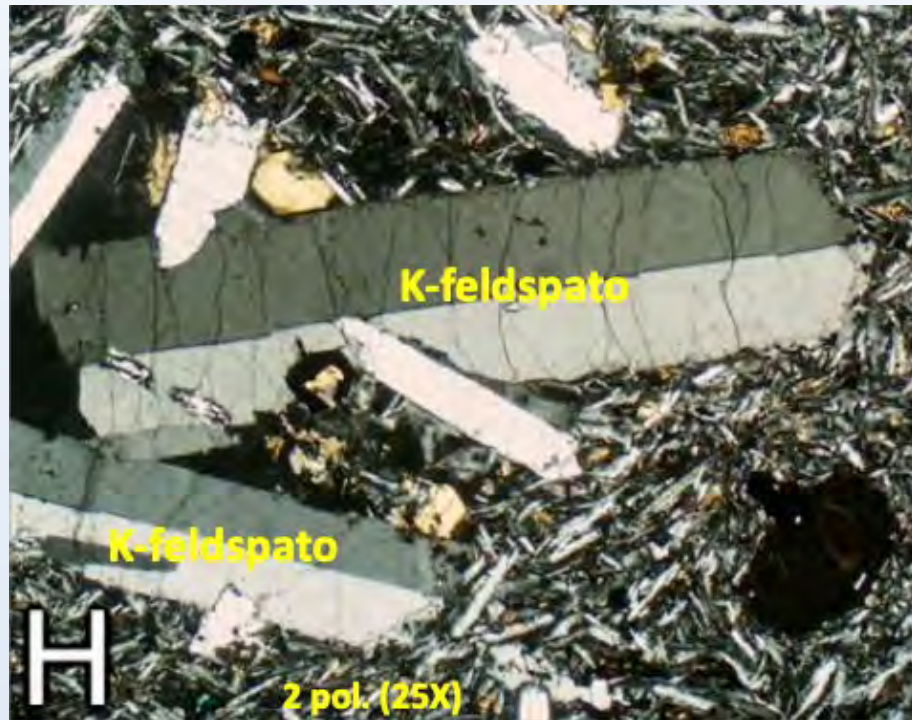
Clinopirosseno con
lamelle di essoluzione
di ortopirosseno



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

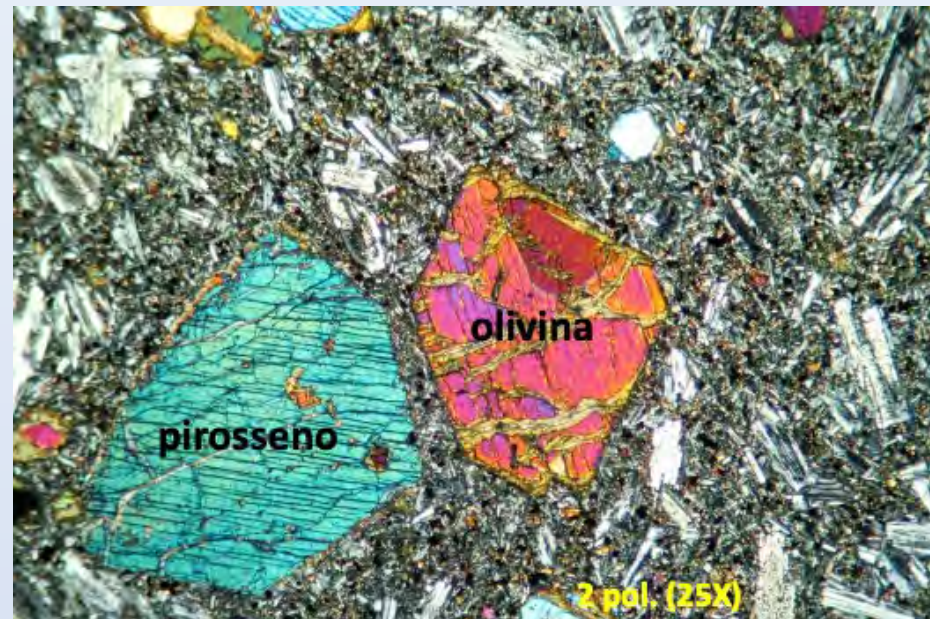


Nei minerali soluzioni solide a miscibilità parziale gli smistamenti si manifestano solo in condizioni cinetiche favorevoli, cioè in ambiente intrusivo, mai in ambiente effusivo.



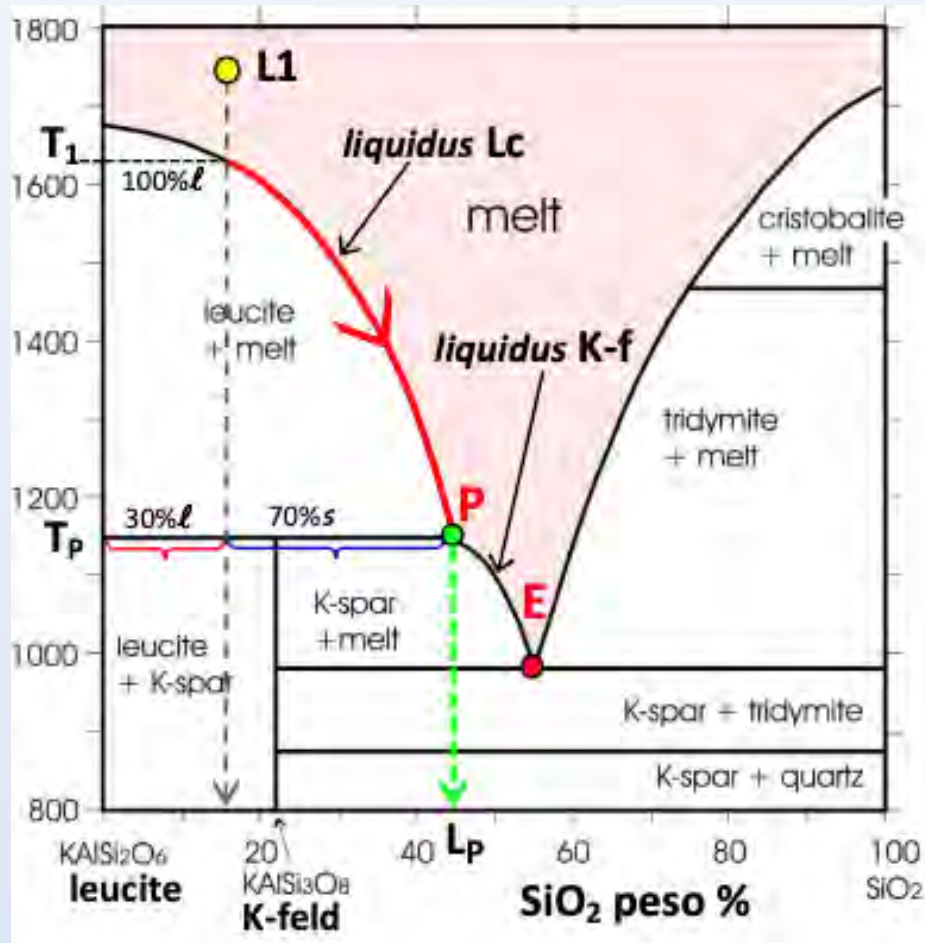
Fenocristalli di K-feldspato (sanidino) in roccia vulcanica (trachite)

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 .

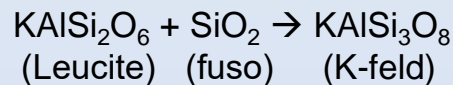
A T_P , cioè al punto P, il liquido L_P è diventato troppo ricco in SiO_2 affinché la leucite resti in equilibrio con esso: si ha quindi una reazione leucite + liquido L_P = K-feldspato (la leucite viene riassorbita dal liquido per produrre K-feld).

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.

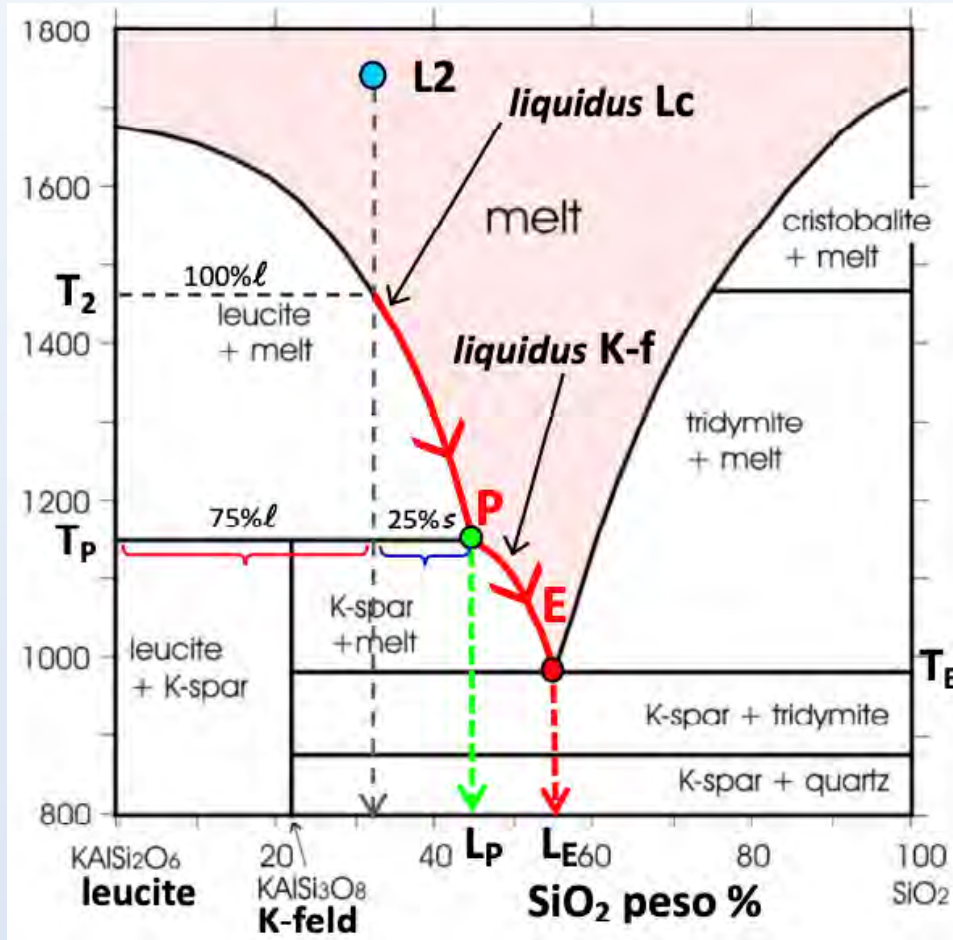
Al punto peritettico (P) si avrà la reazione



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



Cristallizzazione all'equilibrio

Partenza: liquido L_2 o qualsiasi L la cui composizione cade all'interno del tratto K-feld- L_P

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

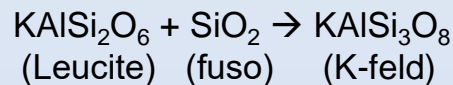
Da T_2 a T_P cristallizza leucite e il liquido si arricchisce in SiO_2 . A T_P , cioè in P, il liquido L_P è diventato troppo ricco in SiO_2 affinché la leucite resti in equilibrio con esso: reazione leucite + liquido $L_P \rightarrow$ K-feldspato; la leucite viene riassorbita dal liquido per produrre 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

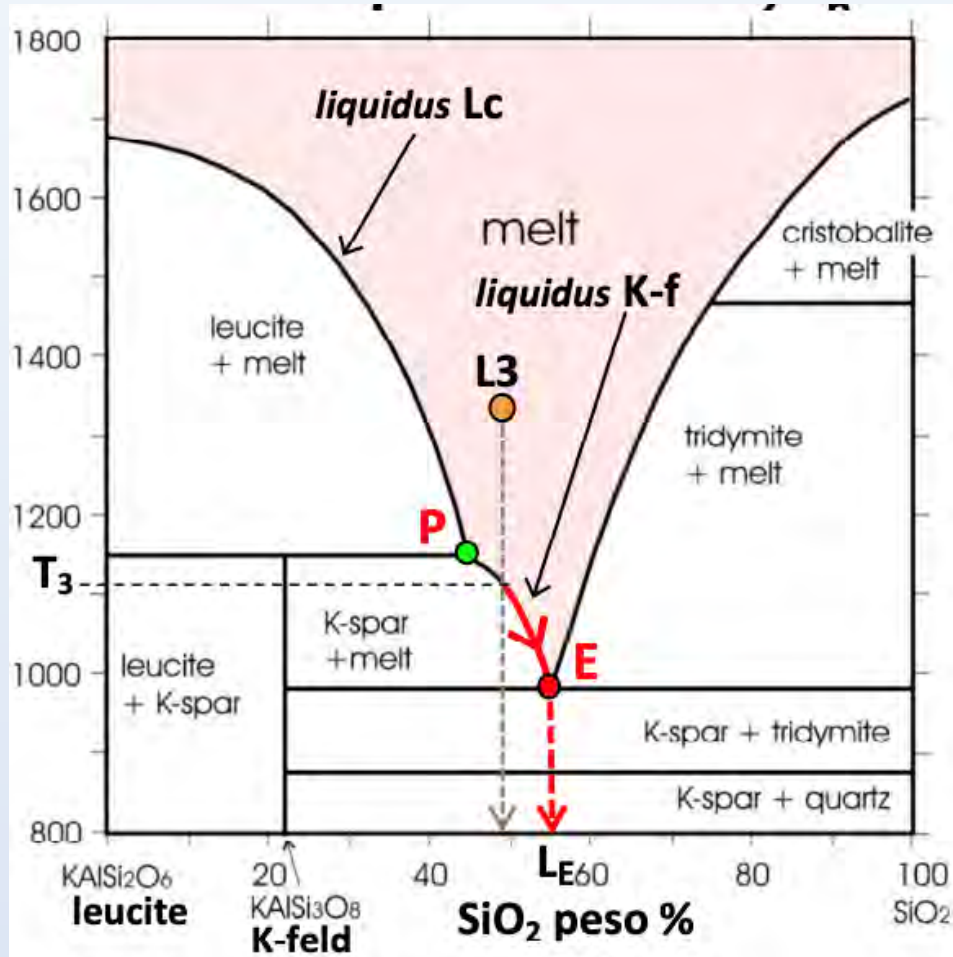
Al punto peritettico (P) si avrà la reazione



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.

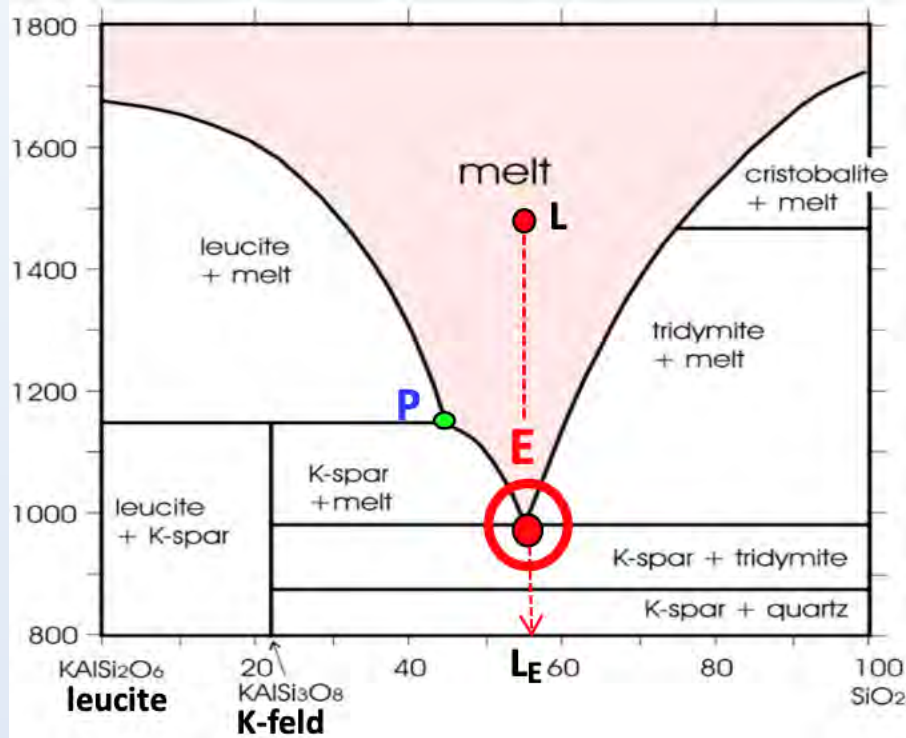
La cristallizzazione non viene interessata da una reazione peritettica

Implicazione generale (a prescindere dal liquido iniziale) →

Leucite e quarzo non possono coesistere

Sistema a 2 componenti con composto intermedio e punto peritettico

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

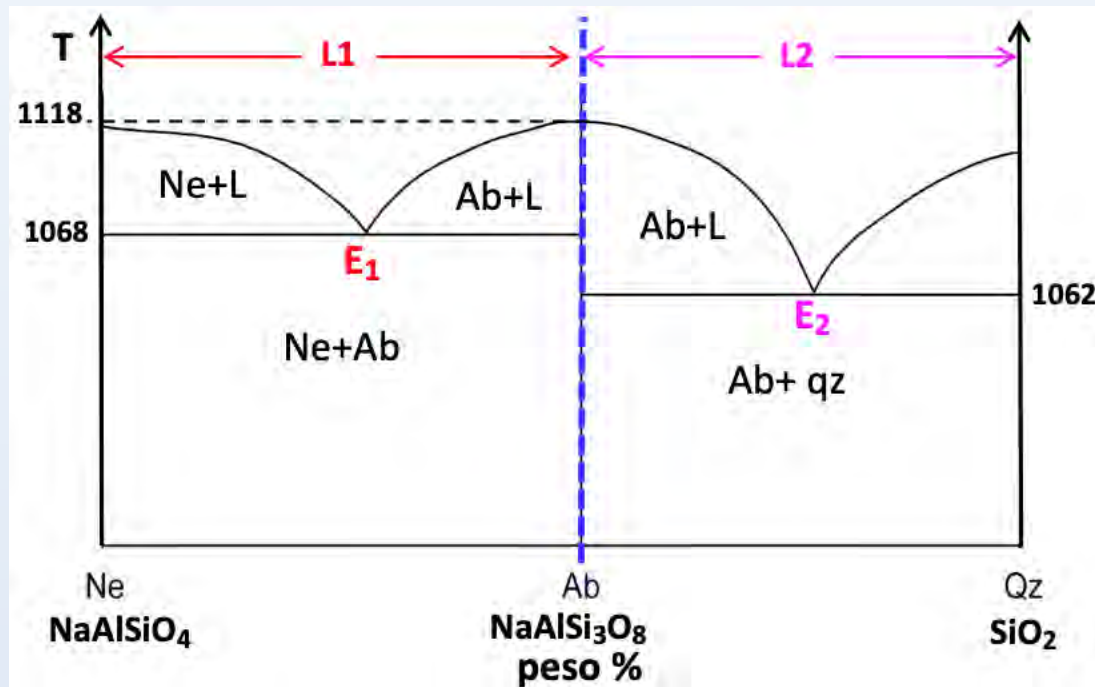


Per magmi ricchi in SiO_2 (granitici) di composizione eutettica la cristallizzazione contemporanea di K-feldspato + quarzo produce la struttura grafica



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

Nefelina (NaAlSiO_4) - quarzo (SiO_2) - composto intermedio Albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$)



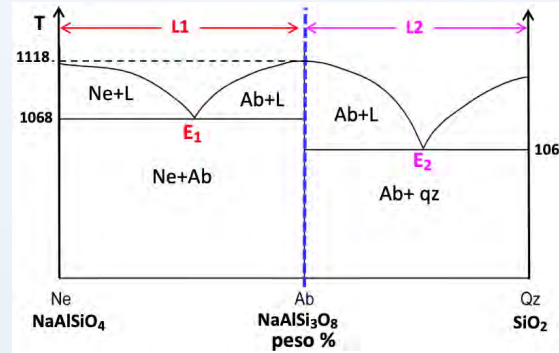
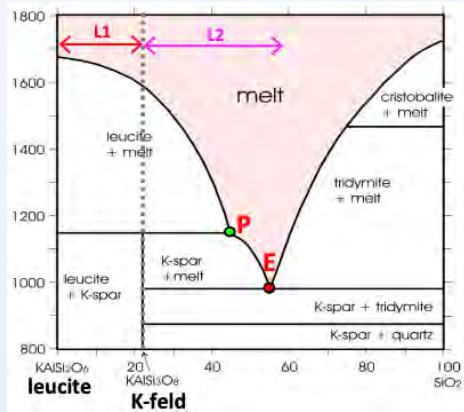
Il composto intermedio Albite divide in due il diagramma Nefelina – SiO_2 , quindi il diagramma va letto come due sistemi accostati, ognuno con un relativo punto eutettico.

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

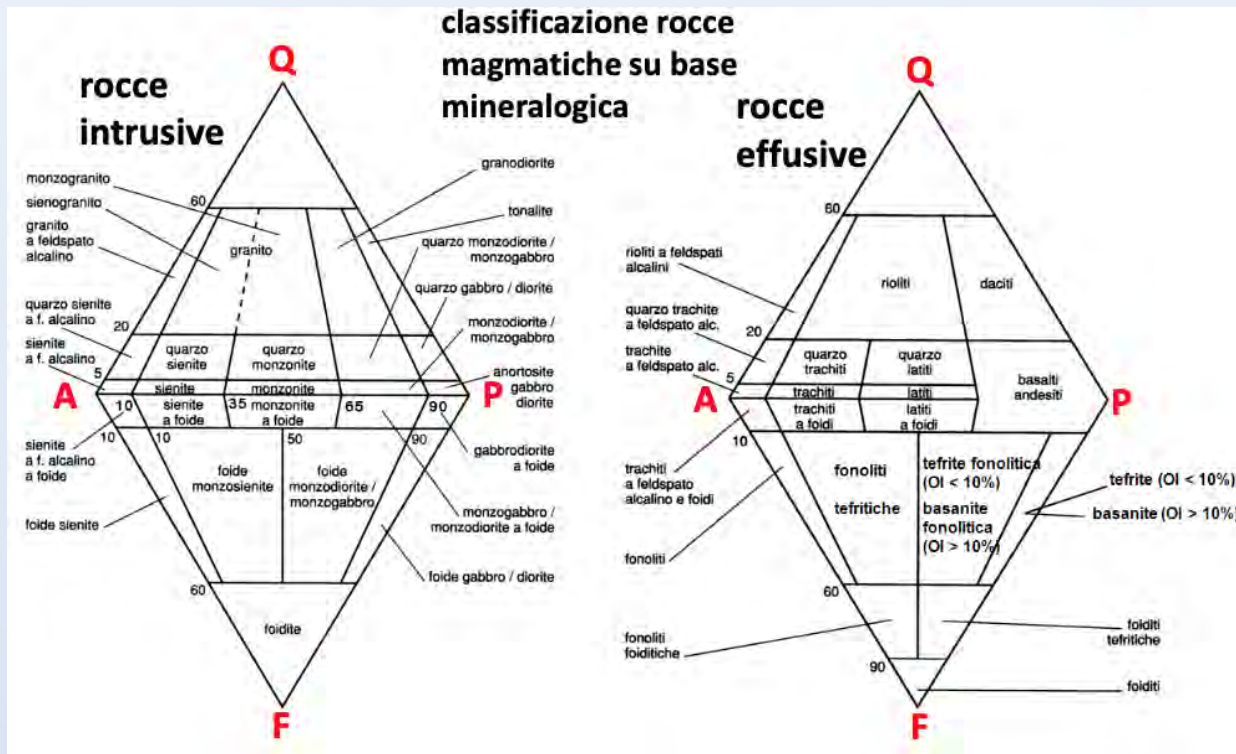
Significato dei diagrammi Leucite/Nefelina (feldspatoidi) - SiO_2



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

Q = quarzo

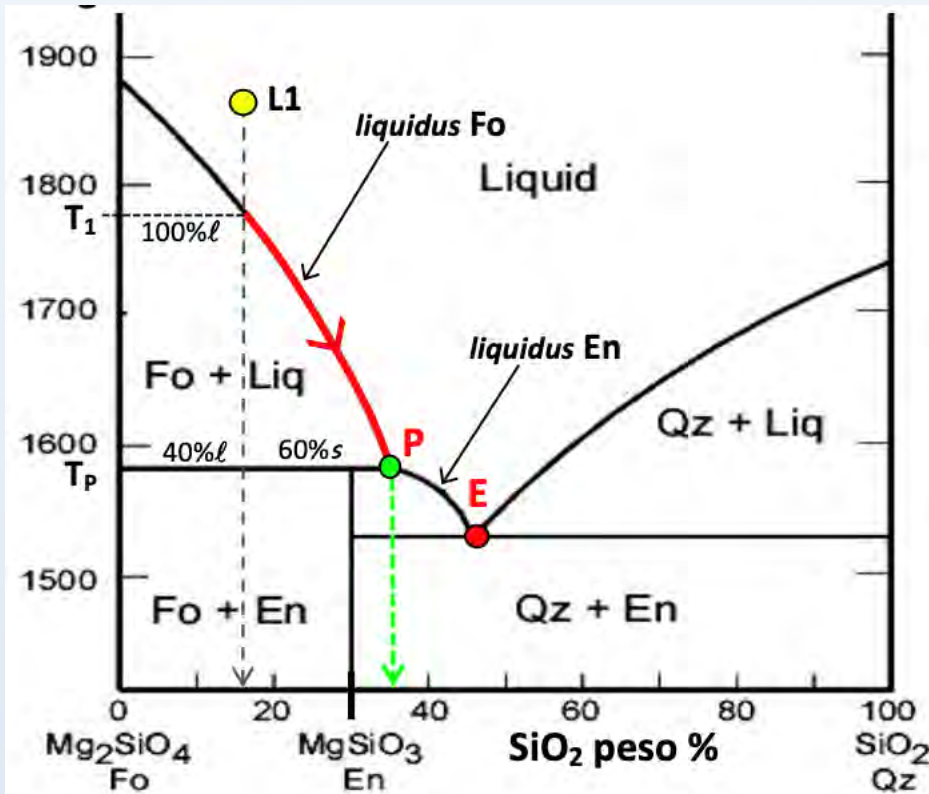
F =feldspatoidi

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

P = plagioclasti (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

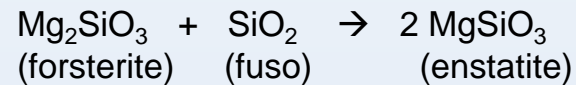
Forsterite (Mg_2SiO_4) - quarzo (SiO_2) - composto intermedio enstatite (MgSiO_3)



Sistema Fo- 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 – SiO_2

Partenza: liquido L_1 o qualsiasi L la cui composizione cade all'interno del tratto Fo-En.

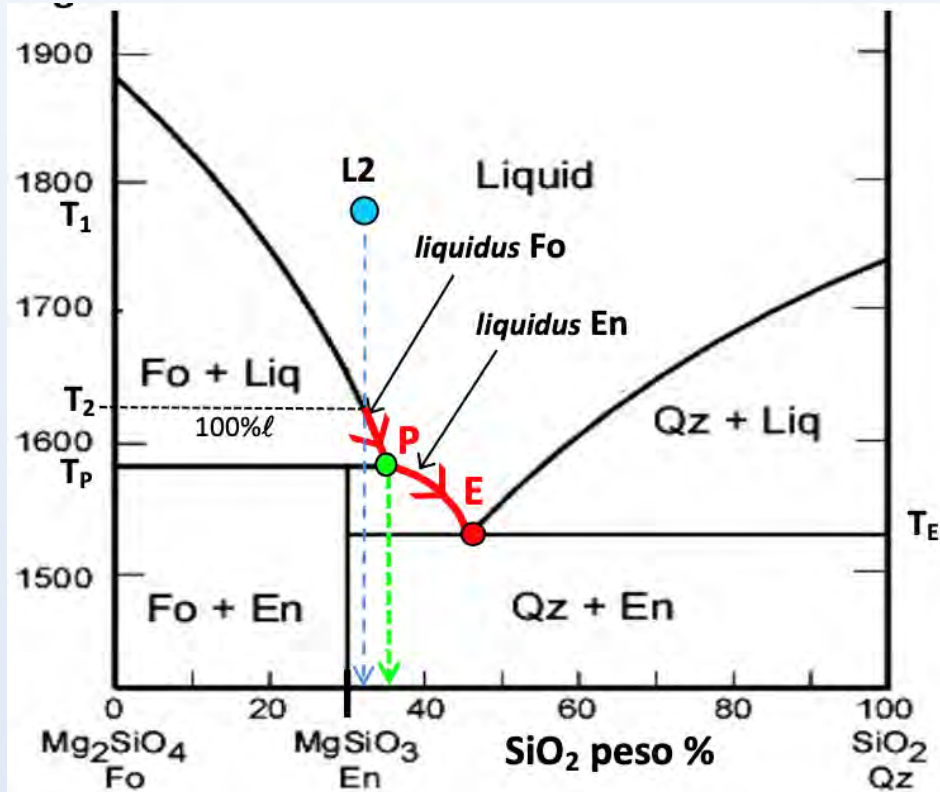
I solidi finali saranno Fo + En.

Da T_1 a T_P cristallizza Fo e il liquido si arricchisce in SiO_2 . A T_P : reazione forsterite + liquido $L_P \rightarrow$ enstatite; l'olivina è riassorbita dal liquido per produrre enstatite. Siccome la quantità di olivina prodotta lungo il tratto T_1 - T_P è superiore (60%) alla quantità di liquido (40%) che arriva in T_P , 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

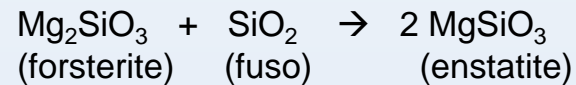
Forsterite (Mg_2SiO_4) - quarzo (SiO_2) - composto intermedio enstatite (MgSiO_3)



Sistema Fo- 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 – SiO_2

Per L_2 , da T_2 a T_P cristallizza olivina e il liquido si arricchisce in SiO_2 .

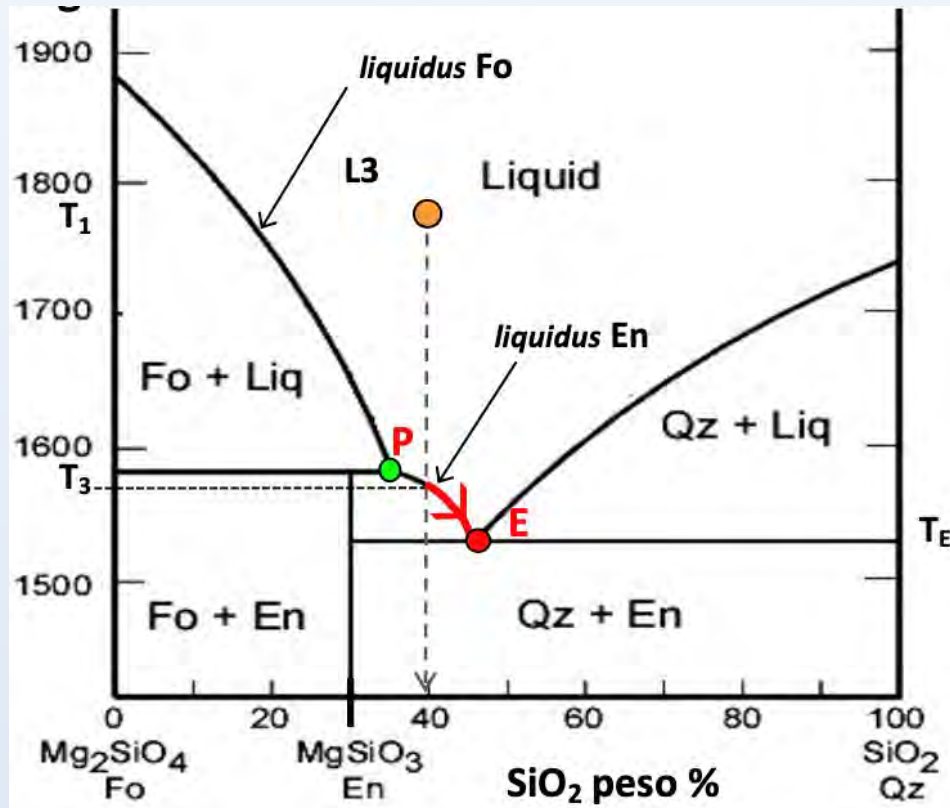
A T_P , cioè in P, il liquido L_P è diventato troppo ricco in SiO_2 affinché l'olivina resti in equilibrio con esso: reazione $\text{Fo} + \text{liquido } L_P \rightarrow \text{En}$; l'olivina è riassorbita dal liquido per produrre enstatite. Siccome ora la quantità di olivina prodotta nel tratto $T_2 - T_P$ 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

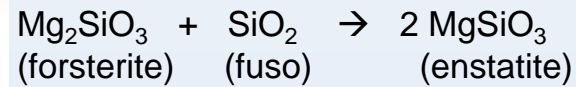
Forsterite (Mg_2SiO_4) - quarzo (SiO_2) - composto intermedio enstatite (MgSiO_3)



Sistema Fo- 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 - SiO_2

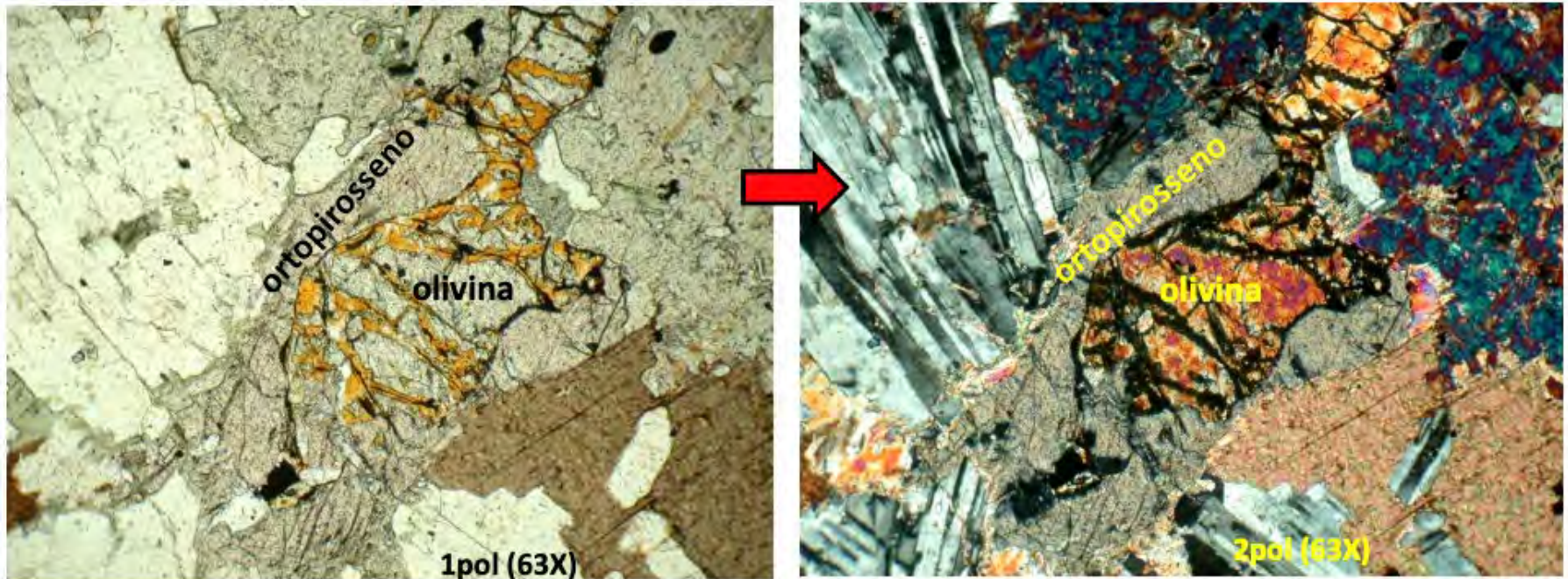
Per L_3 : da T_3 a T_E cristallizza enstatite e il liquido si arricchisce in SiO_2 .
Quando il liquido arriva in E ($V=0$; 3 fasi) cristallizzano insieme enstatite + quarzo.

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

Nessuna reazione peritettica.

Sistema a 2 componenti con composto intermedio e punto peritettico

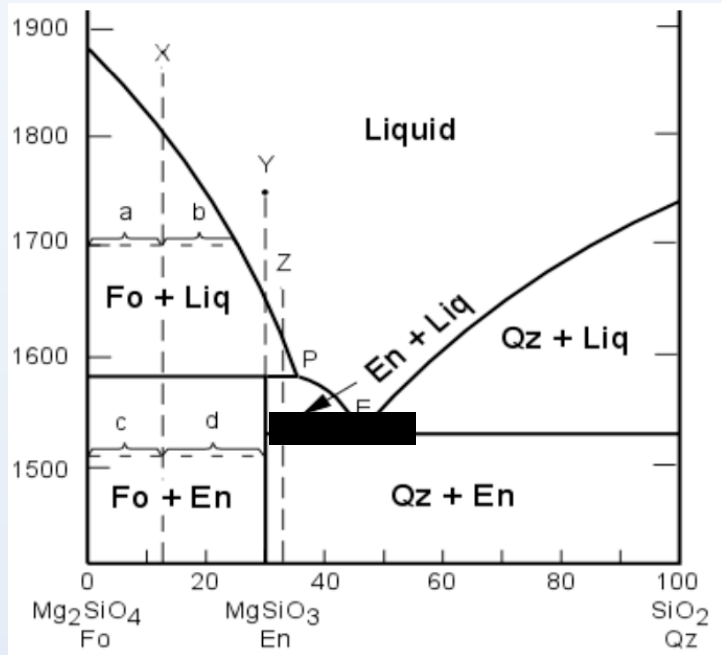
Forsterite (Mg_2SiO_4) - quarzo (SiO_2) - composto intermedio enstatite (MgSiO_3)



Significato petrologico dei diagramma Fo-SiO₂ :

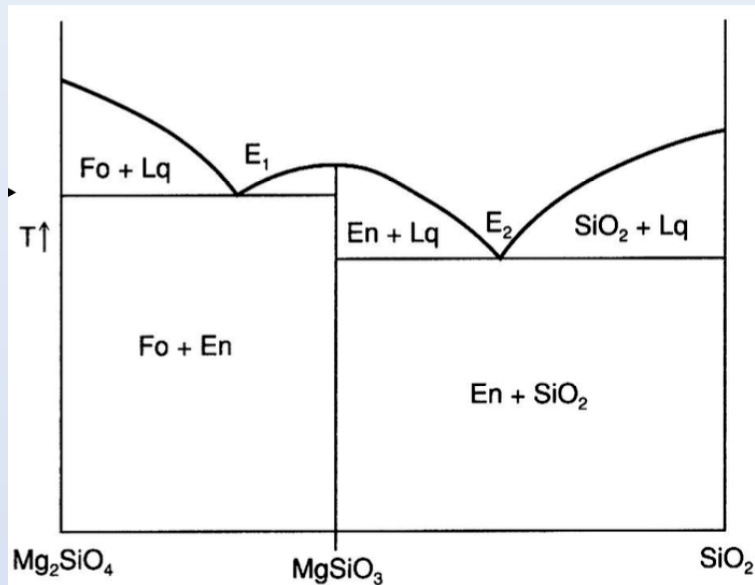
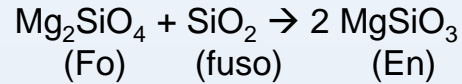
**Per una cristallizzazione all'equilibrio
olivina e quarzo NON possono coesistere**

Il sistema Fo - SiO₂ a diverse pressioni



Sistema Fo – SiO₂ a bassa P (<5 Kbar)

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



Sistema Fo – SiO₂ 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 E₁ (liquidi sottosaturi in SiO₂) ed E₂ (liquidi sovrassaturi in SiO₂)

Il sistema Fo - SiO₂ a diverse pressioni

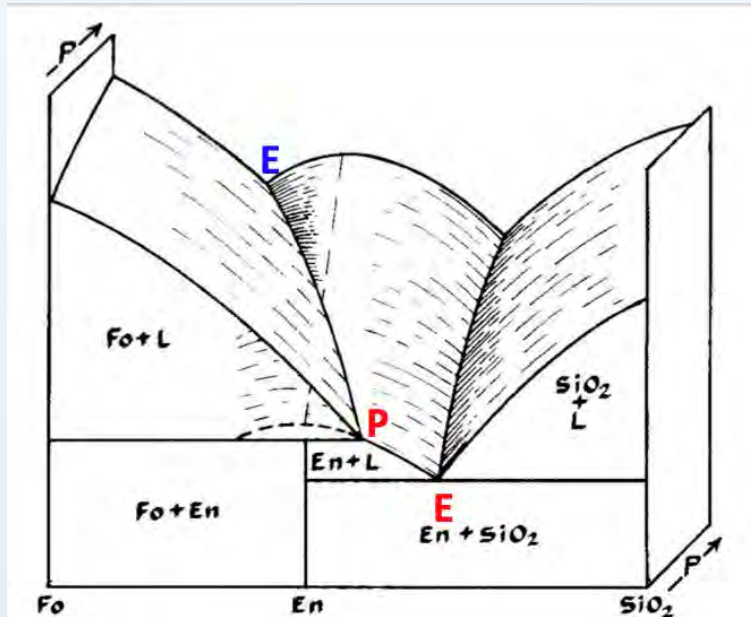
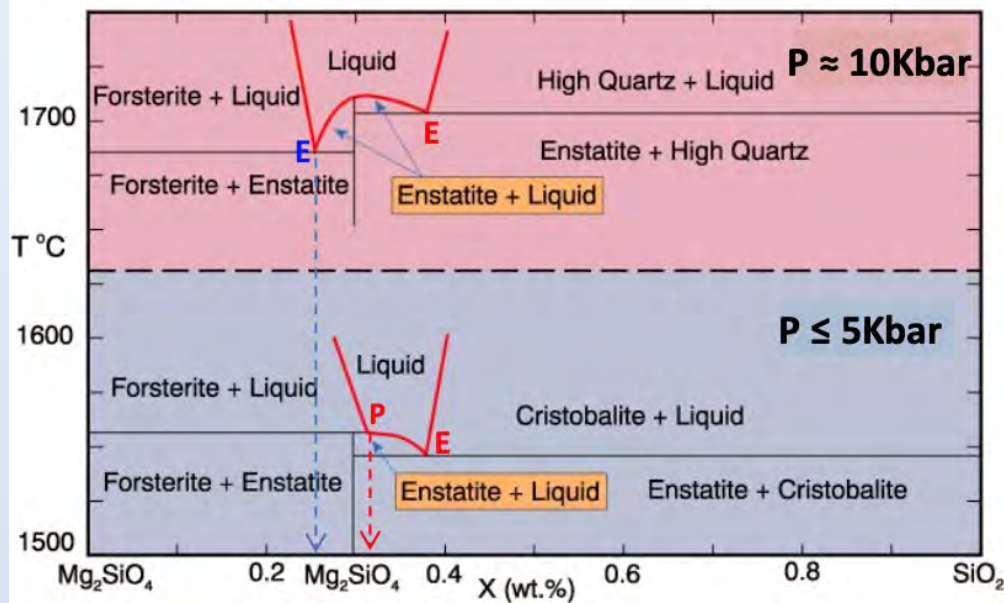


Illustrazione schematica dell'effetto della pressione sul sistema forsterite-silice. La pressione aumenta più la T di liquidus dell'enstatite che quella della forsterite, ingrandendo il campo di stabilità della forsterite e ingrandendo quello dell'enstatite. Allo stesso tempo, il punto peritettico si 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 (SiO₂-sottosaturi; fusione in E) rispetto a quelli prodotti a bassa pressione (fusione in P)