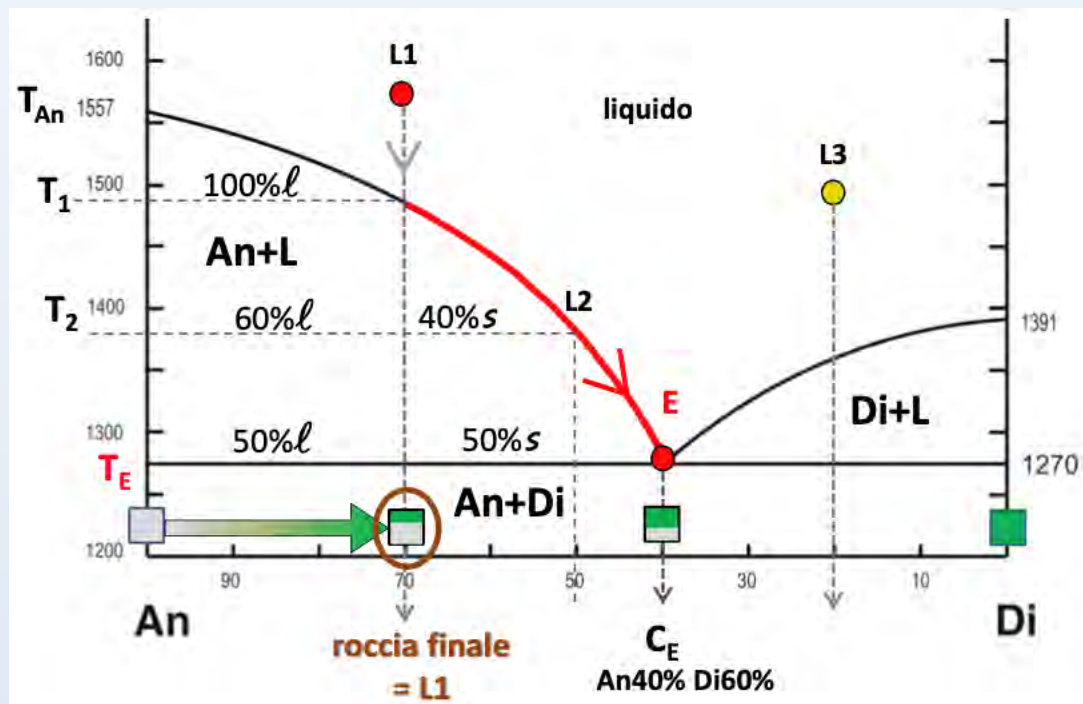


Sistema binario con punto eutettico

Sistema Diopside-Anortite; cristallizzazione all'equilibrio

Anortite $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ plagioclasio
Diopside $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ clinopirosseno



Cristallizzazione all'equilibrio:
i cristalli rimangono in contatto fisico-chimico con il fuso fino alla sua completa cristallizzazione.

- 1) Liquido L_1 di composizione $\text{An}_{70}\text{-Di}_{30}$. A T_1 inizia la cristallizzazione di An. Il liquido è vincolato a stare sulla curva di liquidus An ($V=1$) cristallizzando An e cambiando di composizione, arricchendosi in Di.
- 2) A T_2 è cristallizzato il 40%An e resta 60% di liquido residuale L_2 (**regola della leva**) di composizione $\text{An}_{50}\text{-Di}_{50}$

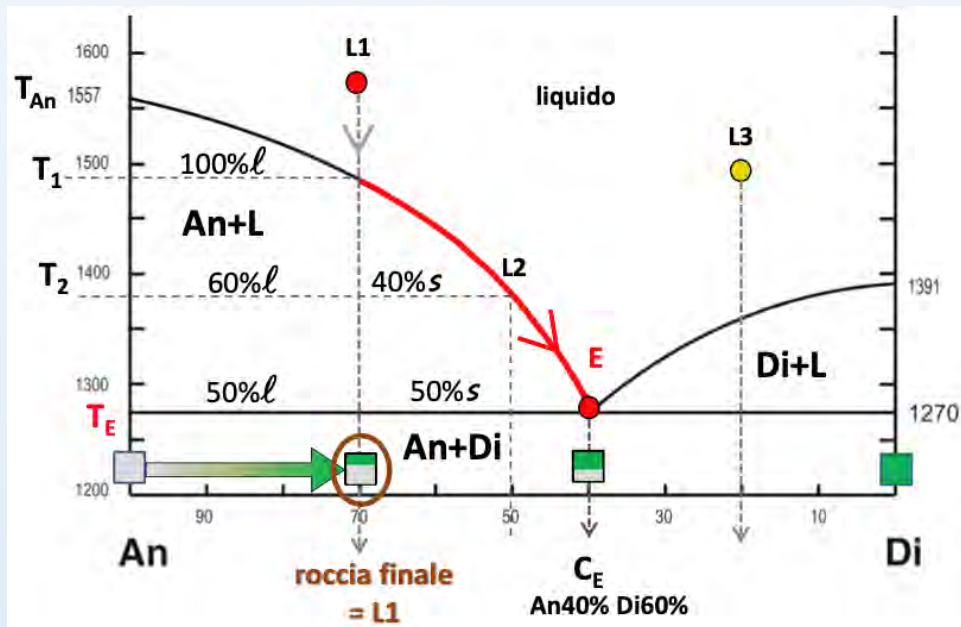
- 3) Arrivato in E, il liquido residuale è 50% e An cristallizzata è 50%. In E dal liquido residuale L_E cristallizza Di + An nelle proporzioni dell'eutettico ($\text{An}_{40}\text{-Di}_{60}$); da questo momento la composizione del solido si arricchisce in Di e si sposta quindi verso Di (vedi freccia). La roccia prodotta è un gabbro.
- 4) **Alla fine della cristallizzazione all'equilibrio il solido ha la stessa composizione del liquido di partenza**

NB: lo stesso processo avviene anche per L_3 . Il solido finale avrà composizione = L_3 , otterrò una roccia con gli stessi minerali ma in rapporti diversi, quindi con composizione chimica diversa

Sistema binario con punto eutettico

Sistema Diopside-Anortite; cristallizzazione all'equilibrio

Anortite $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ plagioclasio
Diopside $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ clinopirosseno

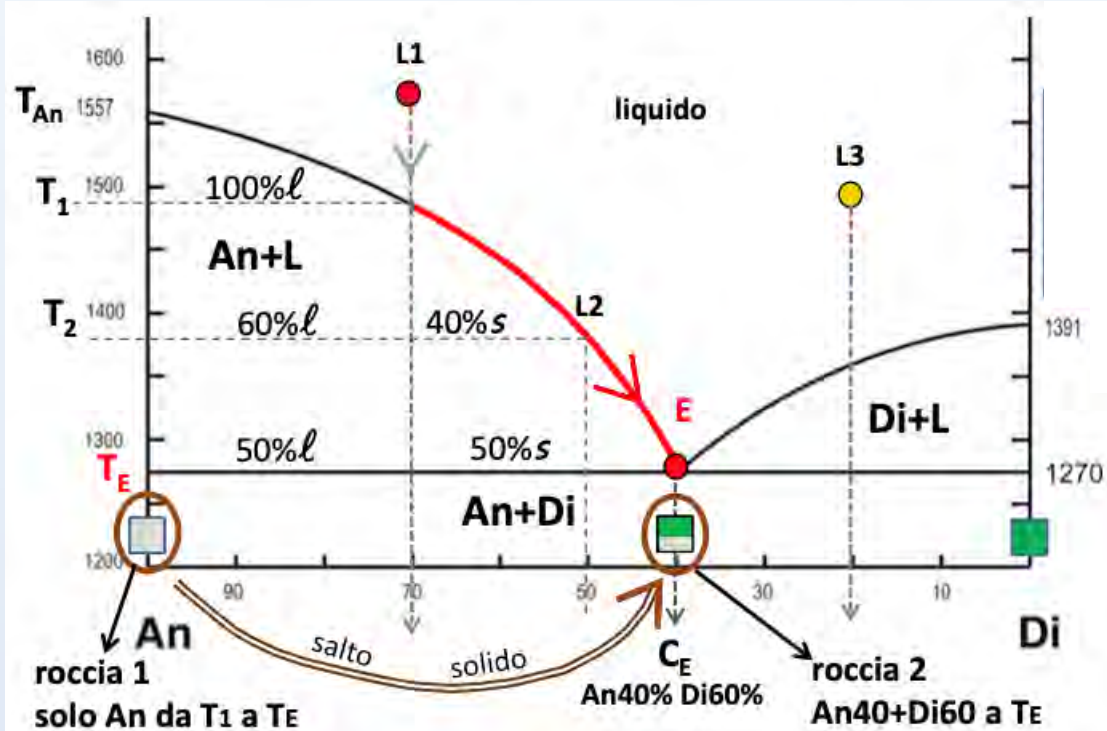


Cristallizzazione all'equilibrio:
i cristalli rimangono in contatto fisico-chimico con il fuso fino alla sua completa cristallizzazione.

	comp.liquido	% liquido residuo a 100	% solido a 100	comp.solido% a 100		composto solido		nome roccia
				An	Di	An	Di	
L1 partenza	An70-Di30	100	0	0	0			
T1	An70-Di30	100	0	0	0			
T2	50An-50Di	60	40	100	0	40	0	
da T2 a T _E	da 50An-50Di a 40An-60Di	da 60 a 50	da 40 a 50	100	0	10	0	
T _E	40An-60Di	50	50	40	60	20	30	
1 solido finale= liquido iniziale						40+10+20=70	30	leuco-Gabbro

Sistema binario con punto eutettico

Sistema Diopside-Anortite; cristallizzazione frazionata



Anortite $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ plagioclasio
Diopside $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ clinopirosseno

Cristallizzazione frazionata:

i cristalli formati si separano fisicamente dal liquido (es, per differente densità rispetto al liquido)

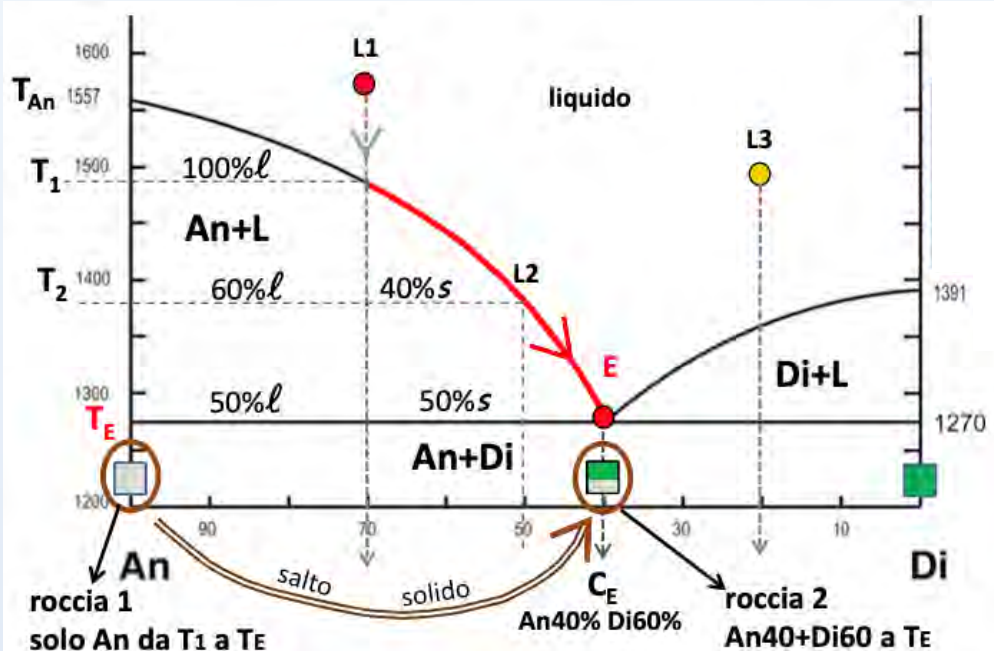
- 1) Partenza: Liquido L₁ di composizione analoga al caso precedente. Il percorso del liquido è uguale al a quello della cristallizzazione all'equilibrio, **ma non il solido.**
- 2) Fino a quando L₁ si sposta lungo il liquidus, da T₁ a T_E, cristallizza solo An, che viene continuamente allontanata dal liquido. Si formerà una roccia costituita solo da plagioclasio (anortosite)

- 3) Quando L arriva in E, la composizione del solido fa una "salto": cristallizzano An+Di in proporzioni uguali a C_E. Si formerà una roccia costituita da An₄₀+Di₆₀. Cioè un gabbro.
- 4) Alla fine della cristallizzazione frazionata, da un solo liquido si ottengono due rocce diverse; entrambe NON corrispondono alla composizione del liquido di partenza.

NB: lo stesso processo avviene anche per L₃. I solidi finali saranno due: uno costituito solo da Di (pirossenite) e uno da Di+An in proporzioni eutettiche (un gabbro)

Sistema binario con punto eutettico

Sistema Diopside-Anortite; cristallizzazione frazionata



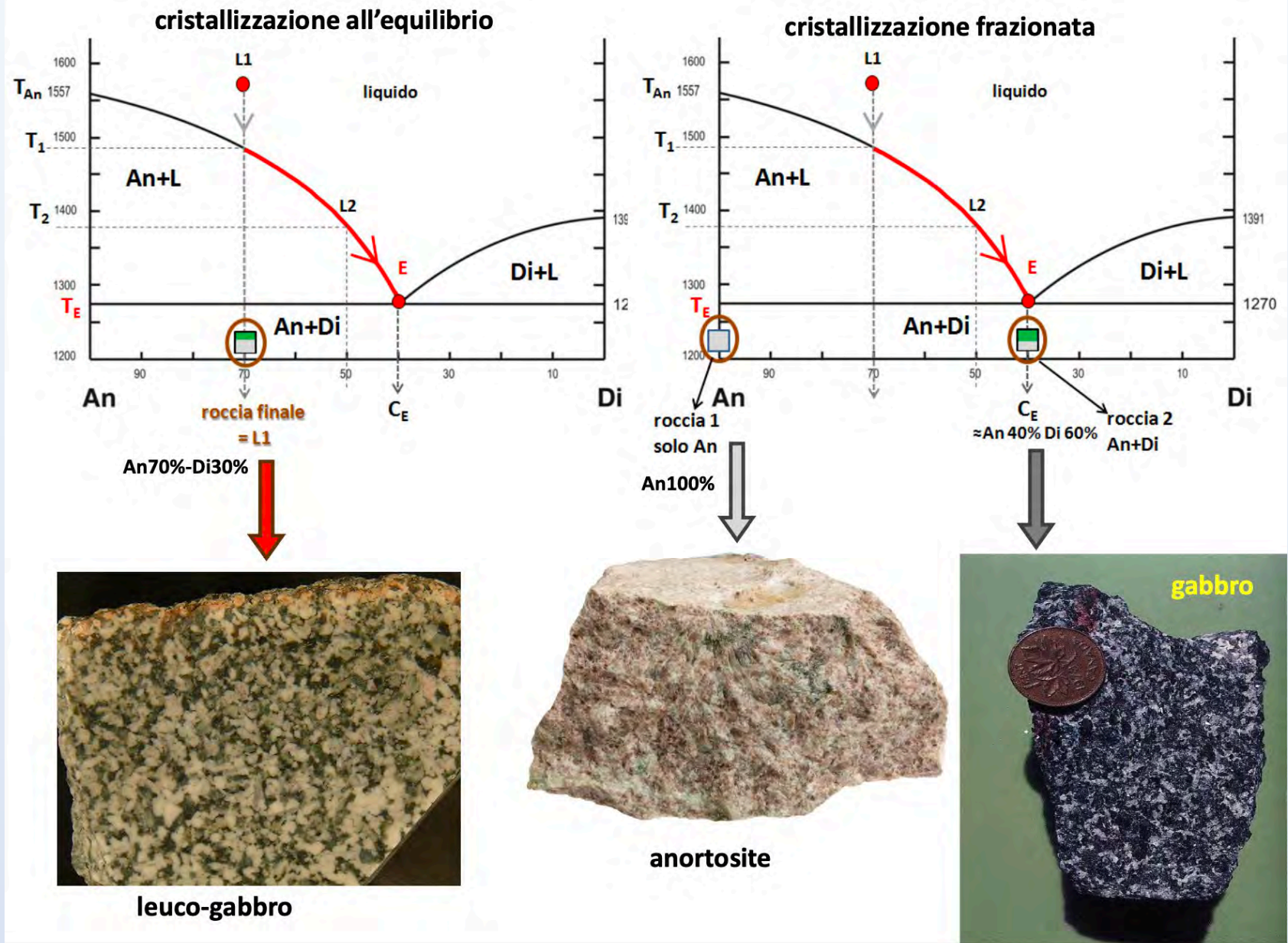
Anortite $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ plagioclasio
 Diopside $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ clinopirosseno

Cristallizzazione frazionata:

i cristalli formati si separano fisicamente dal liquido (es, per differente densità rispetto al liquido)

	comp.liquido	% liquido residuo a 100	% solido a 100	comp.solido% a 100	composto solido	nome roccia
L1 partenza	An70-Di30	100	0	An 0 Di 0	An Di	
da T ₁ a T _E	da An70-Di30 a 40An-60Di	da 100 a 50	da 0 a 50	100 0	100	Anortosite
T _E	40An-60Di			40 60	40 60	Gabbro
solido finale 1					100% An	Anortosite
solido finale 2					An40% Di60%	Gabbro

Sistema Diopside-Anortite



Cristallizzazione all'equilibrio e frazionata

Nella cristallizzazione all'equilibrio, si forma un solo tipo di roccia, di composizione uguale al liquido di partenza.

Per cristallizzazione frazionata si formano una serie di rocce (due nel caso del sistema più semplice binario a due componenti) e si ottengono rocce ancora diverse dallo stesso magma iniziale cambiando la Pressione, ognuna di composizione diversa una dall'altra e diversa dal liquido di partenza.

Negli esempi: i due gabbri che si producono per cristallizzazione all'equilibrio e frazionata sono composizionalmente diversi, anche se formati dagli stessi minerali.

Cristallizzazione all'equilibrio e frazionata sono due estremi del processo di solidificazione del magma: **in natura molto spesso il processo è intermedio tra i due.**

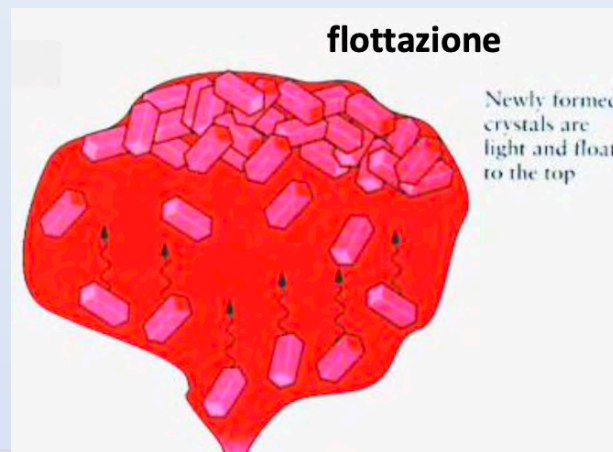
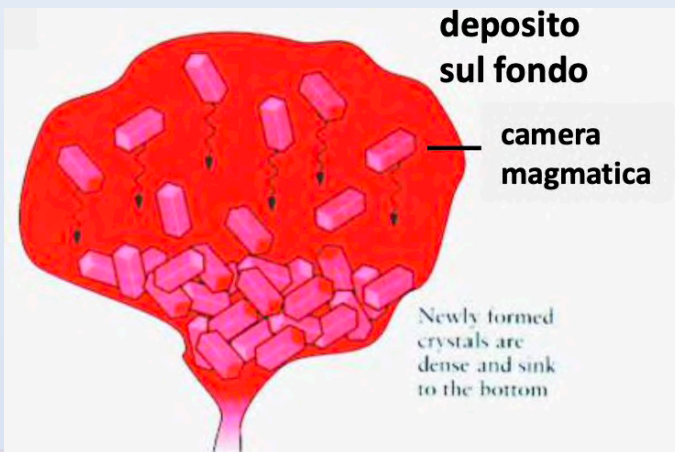
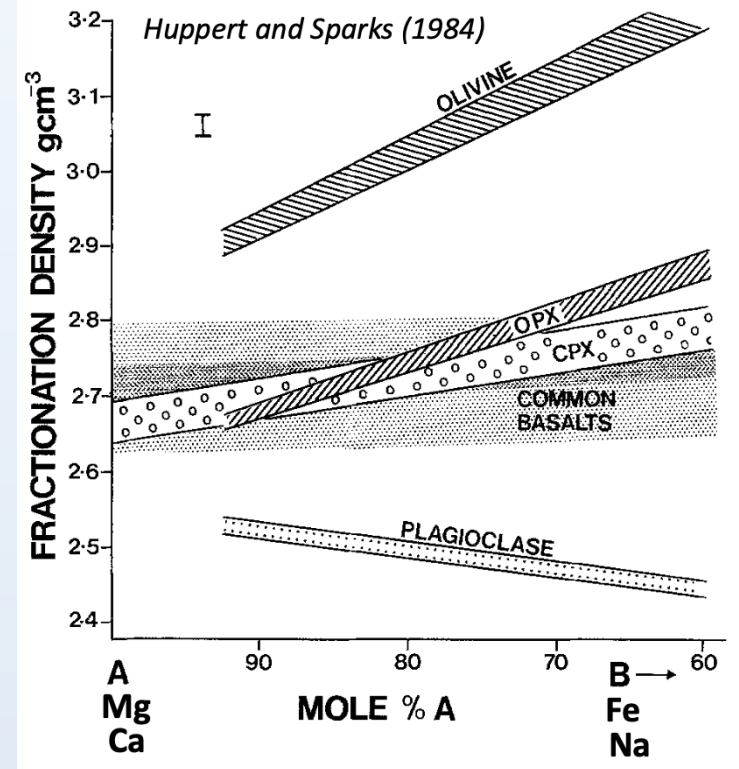
Cristallizzazione frazionata e differenziazione magmatica

La cristallizzazione frazionata (= separazione solido-liquido) è il più importante meccanismo di differenziazione magmatica.

Si ha un cambiamento composizionale del liquido magmatico residuale (= differenziazione magmatica): esso viene impoverito negli elementi (compatibili) che entrano nei minerali che si formano a più alte T e conseguentemente arricchito in quegli elementi (incompatibili) che non entrano in questi.

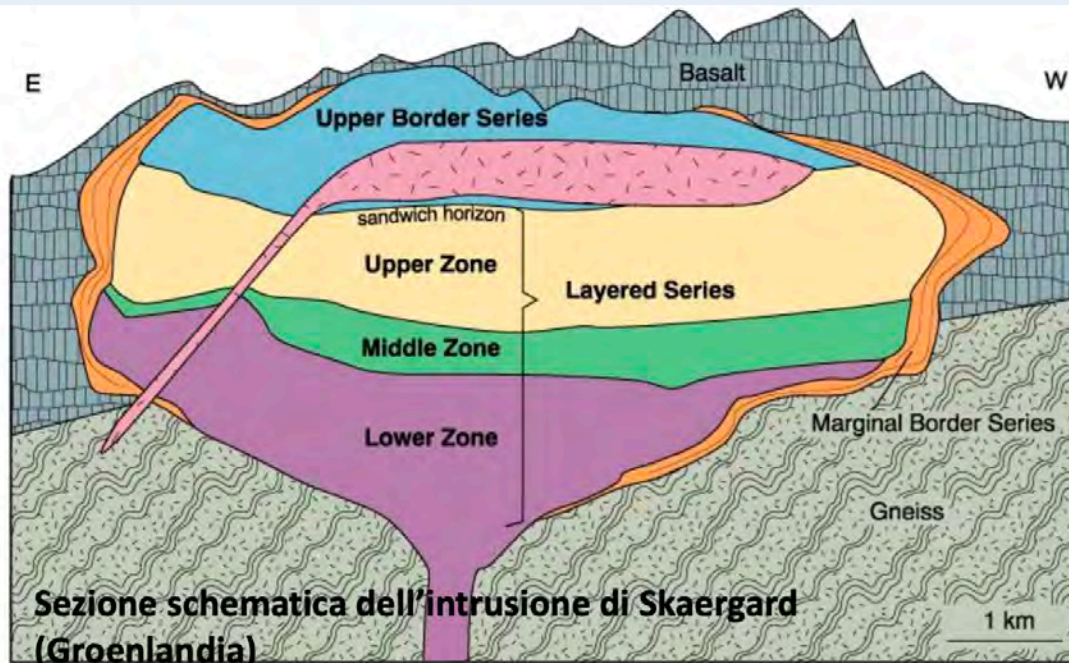
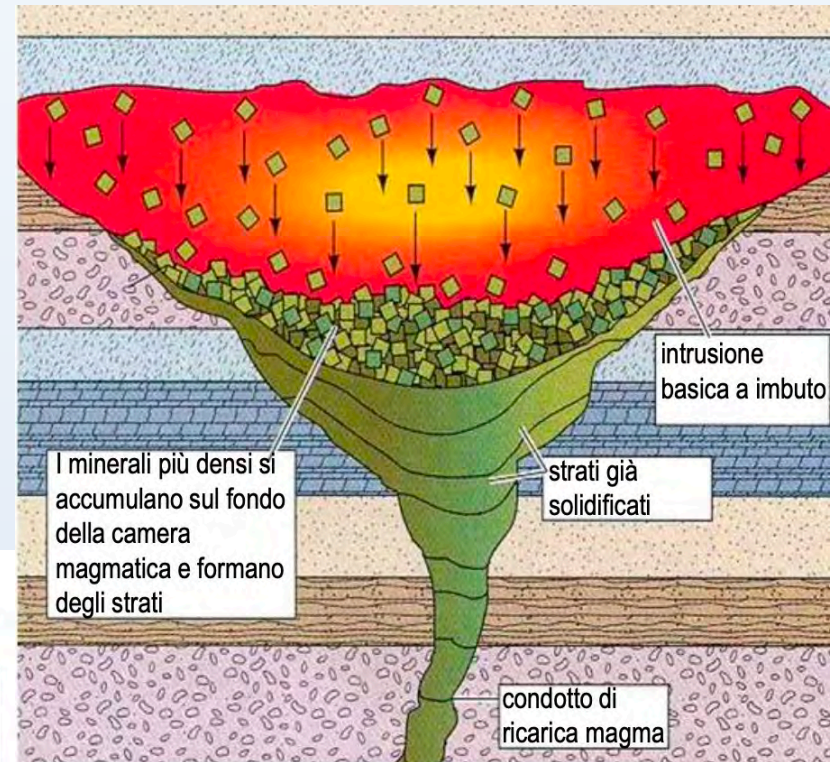
La cristallizzazione frazionata produce quindi un magma residuale ed dei solidi residuali chiamati cumulati.

In funzione del contrasto di densità tra minerali e magma e della viscosità del magma, i minerali che si formano per primi tendono a depositarsi sul fondo della camera magmatica (se più densi) o a flottare (se più leggeri del magma)

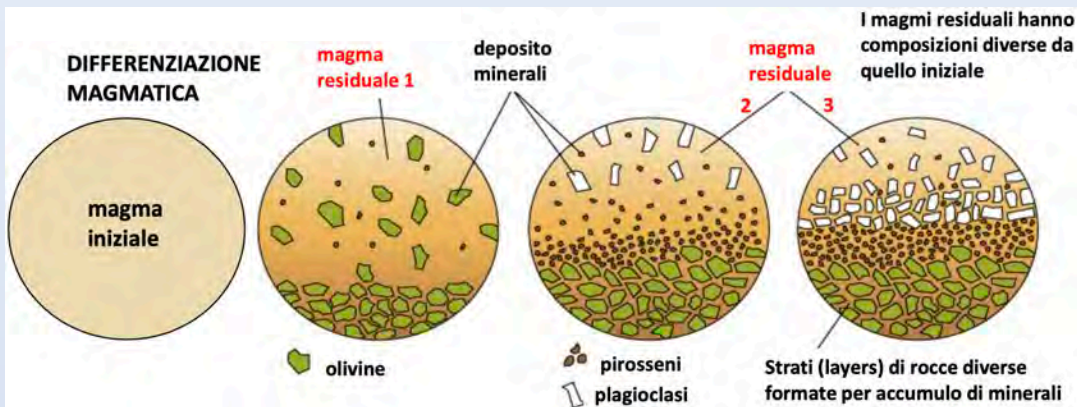


Differenziazione e gravitativa

Intrusioni mafiche stratificate



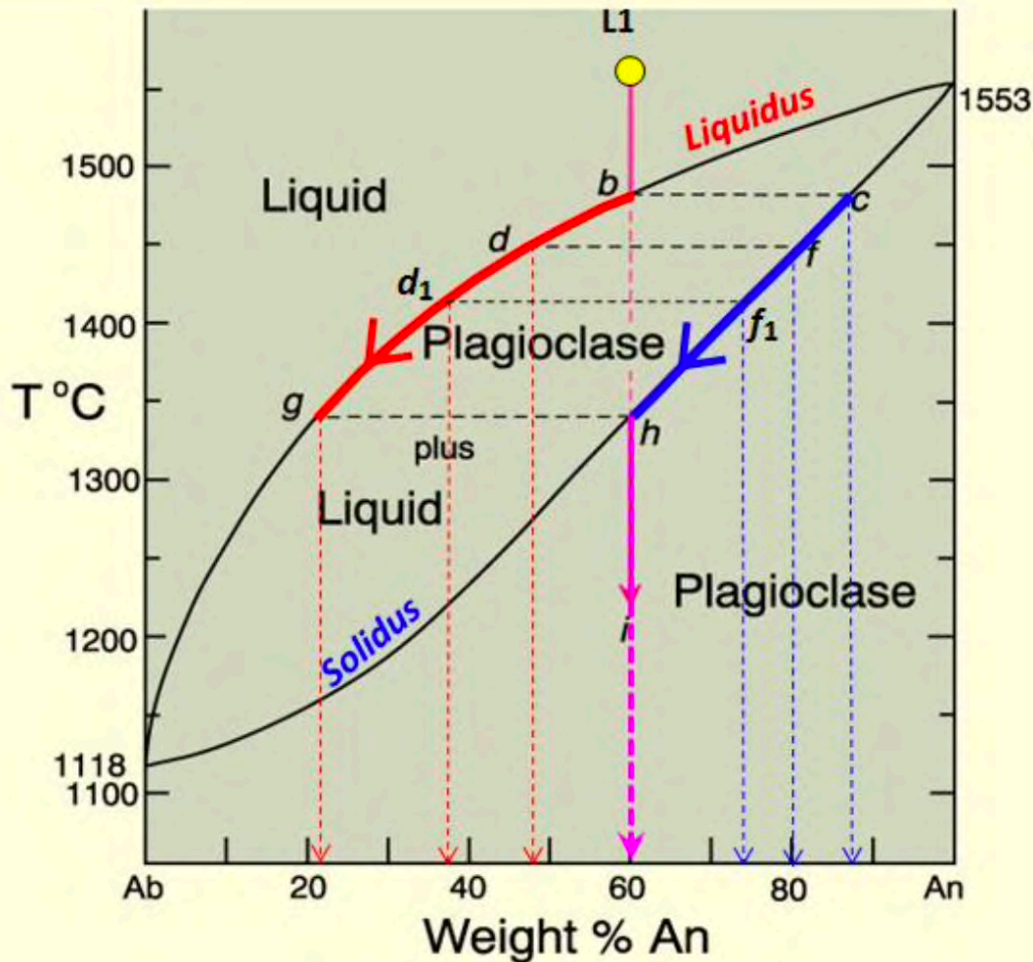
Intrusioni mafiche stratificate



Complesso Basico Ivrea-Verbano
Zone (zona basale)

Sistema binario con componenti completamente miscibili

Plagioclasti (Na-Ca feldspati) – soluzioni solide isomorfe Albite-Anortite



Cristallizzazione all'equilibrio: infinitesimi passi di riequilibratura tra liquido e solido.

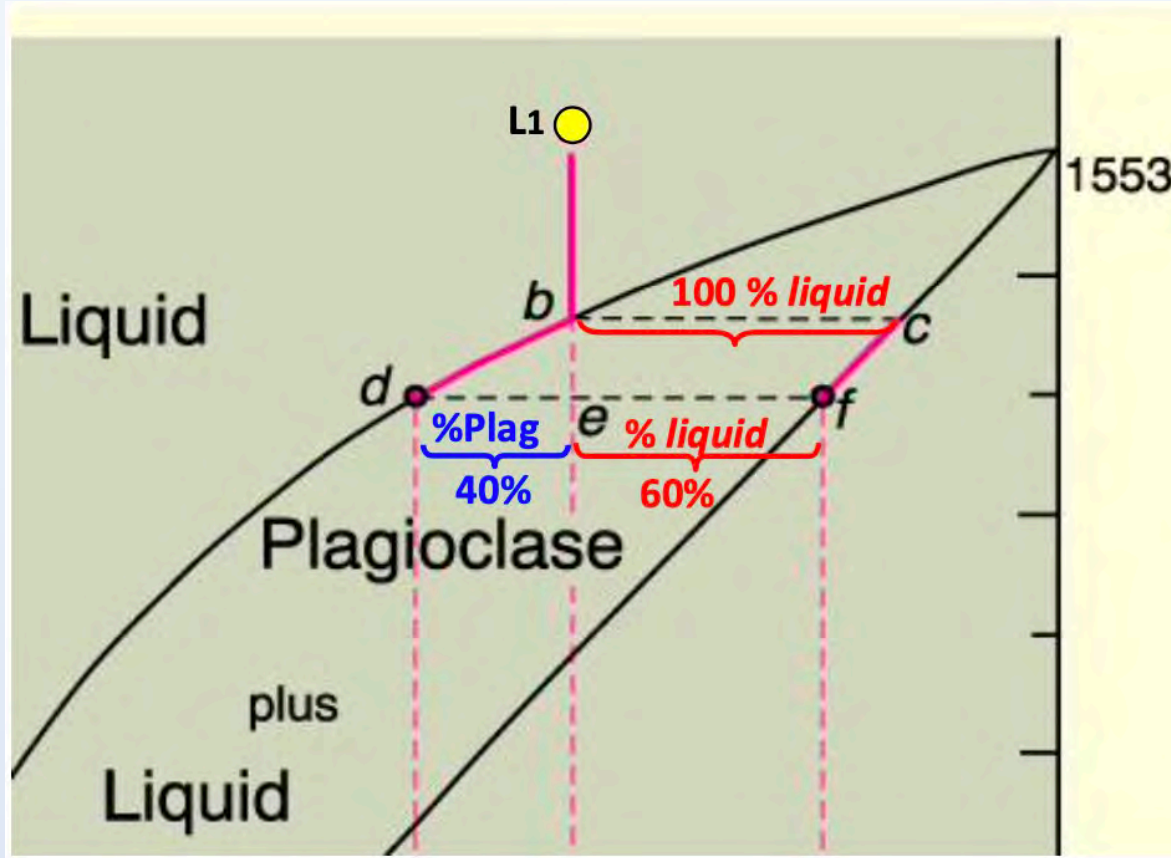
Partenza liquido L_1 di composizione $An_{60}-Ab_{40}$. Quando il liquido tocca il liquidus ($V=1$) nel punto b cristallizza un plag. di composizione $c = An_{88}-Ab_{12}$ (molto più ricca in An rispetto al L_1 !!!) Il liquido è "costretto" a spostarsi lungo la curva di liquidus ($V=1$), cioè al diminuire delle T cambia la composizione diventando più ricco in Ab. Man mano che il liquido cambia di composizione, il plag. che cristallizza si riequilibra in continuazione con il liquido e diventa anch'esso più ricco in Ab.

Per $L = d$ ($An_{48}-Ab_{52}$) cristallizza un plag di composizione f ($An_{80}-Ab_{20}$); per $L = d_1$ ($An_{38}-Ab_{62}$) il plag è f_1 ($An_{74}-Ab_{36}$). La cristallizzazione finisce quando $L = g$ ($An_{22}-Ab_{78}$) e il plag = h ($An_{60}-Ab_{40}$).

Il plagioclasto finale sarà omogeneo, con composizione uguale al liquido di partenza.

Cristallizzazione all'equilibrio → Continuo cambio chimico tra la fase solida ed il liquido al diminuire della T . La velocità di raffreddamento del liquido è inferiore alla velocità di riequilibratura chimica della fase solida.
→ **Cristalli omogenei**

Regola della leva



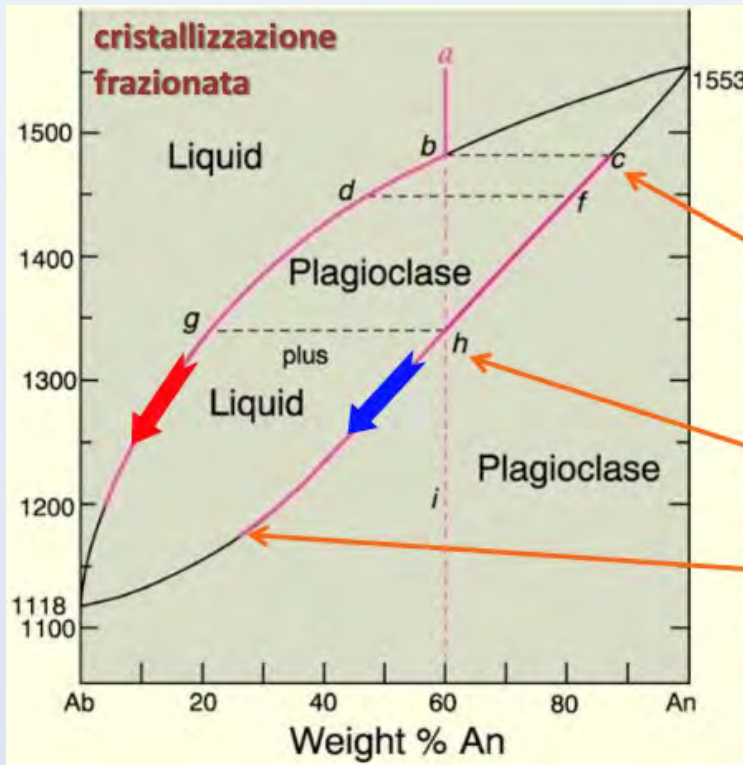
La regola della leva permette di definire la percentuale di solido e di liquido ad ogni T.

Sistema binario con componenti completamente miscibili

Plagioclasa (Na-Ca feldspati) – soluzioni solide isomorfe Albite-Anortite

Cristallizzazione frazionata: La velocità di raffreddamento del liquido è maggiore della velocità di riequilibratura chimica della fase solida. Questo farà sì che si formino dei cristalli con diversa composizione dal nucleo (più ricco in An al bordo (più ricco in Ab)).

↳ **Cristalli zonati**



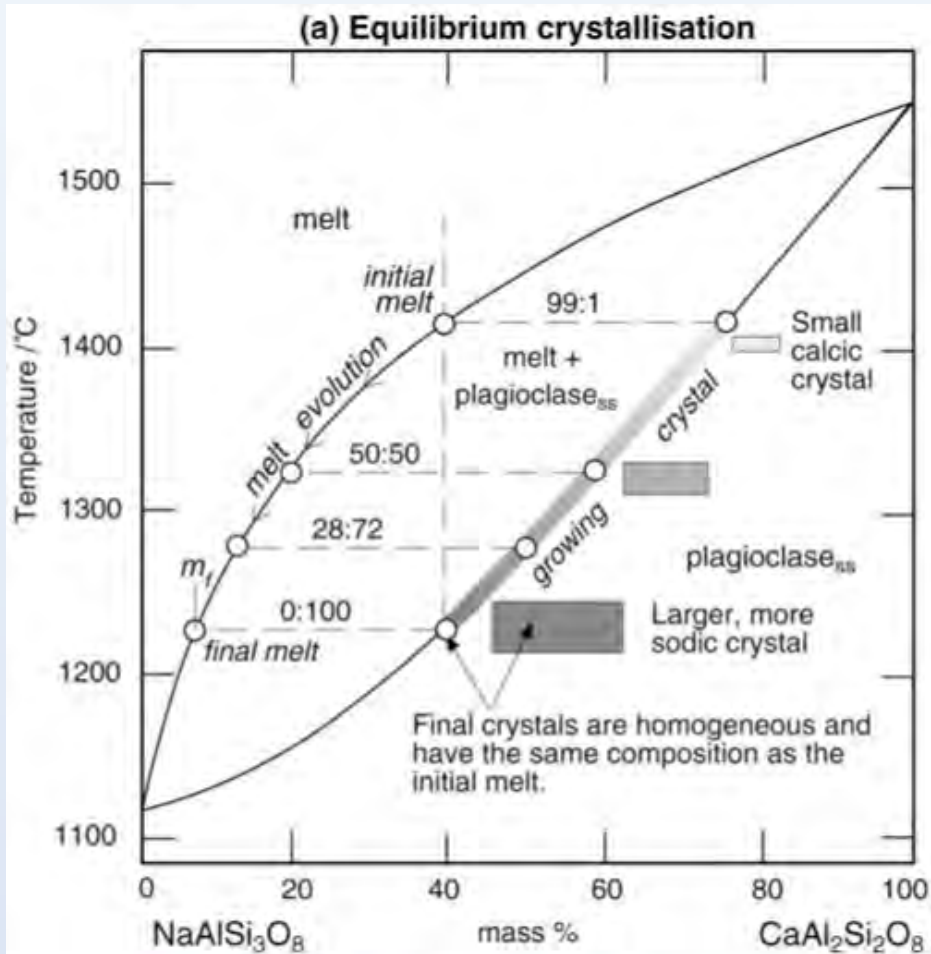
Zonatura semplice continua

Plagioclasio al microscopio
(polarizzatori incrociati)

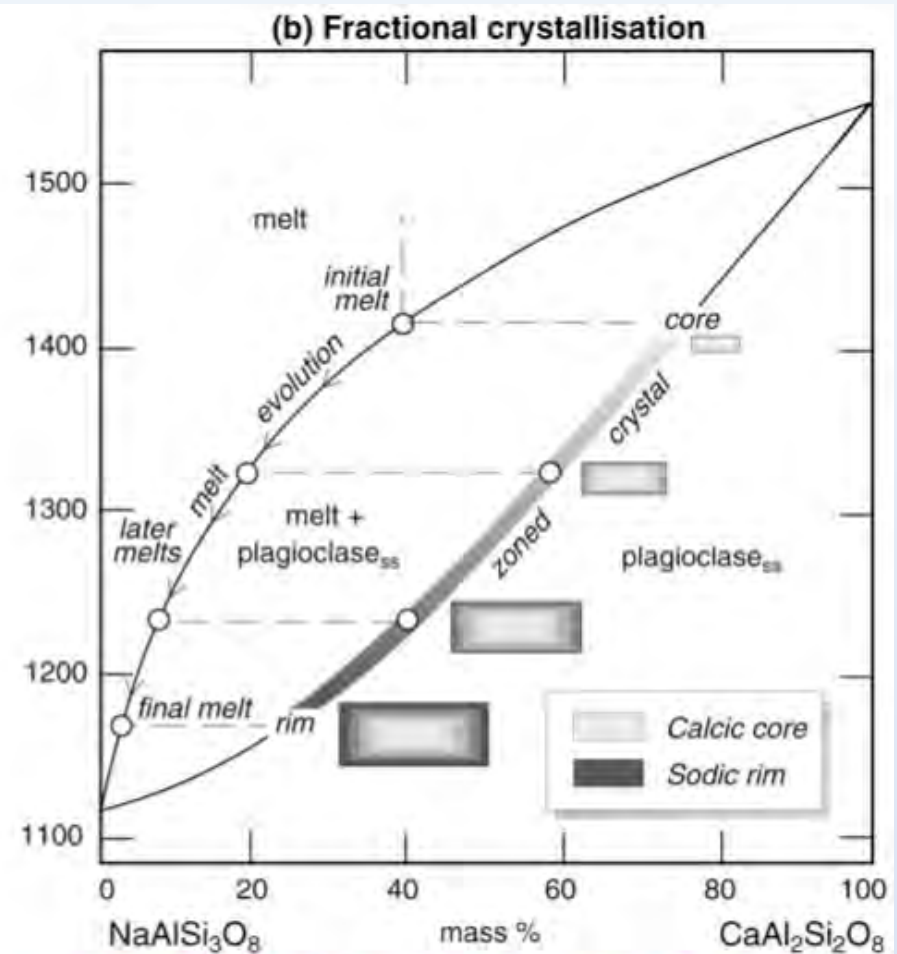
In natura una situazione di perfetto equilibrio non si verifica quasi mai, in quanto la continua reazione tra i cristalli di prima generazione ricchi in An ed il liquido è ostacolata dagli strati cristallini di neoformazione progressivamente più ricchi in Ab, stabili a T via via decrescenti.

Sistema binario con componenti completamente miscibili

Plagioclasti (Na-Ca feldspati) – soluzioni solide isomorfe Albite-Anortite



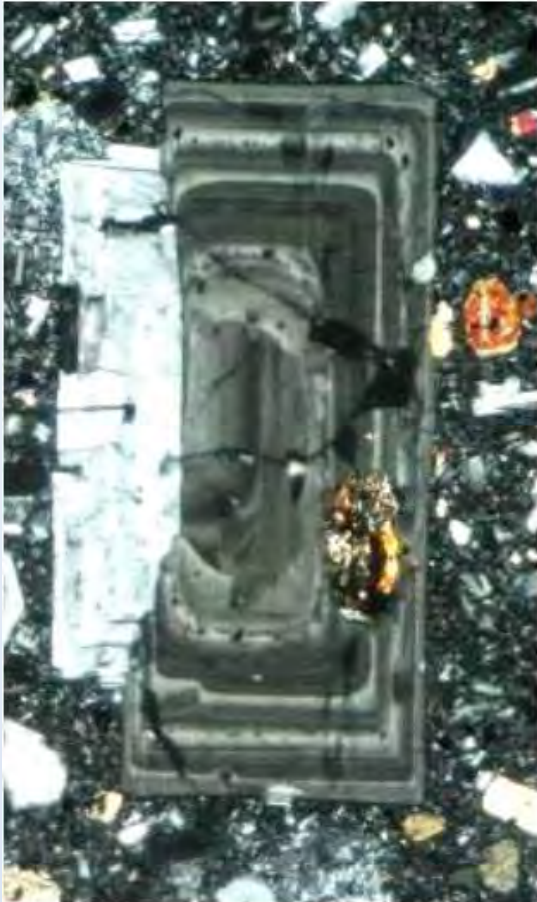
Risultato : i cristalli sono OMOGENEI



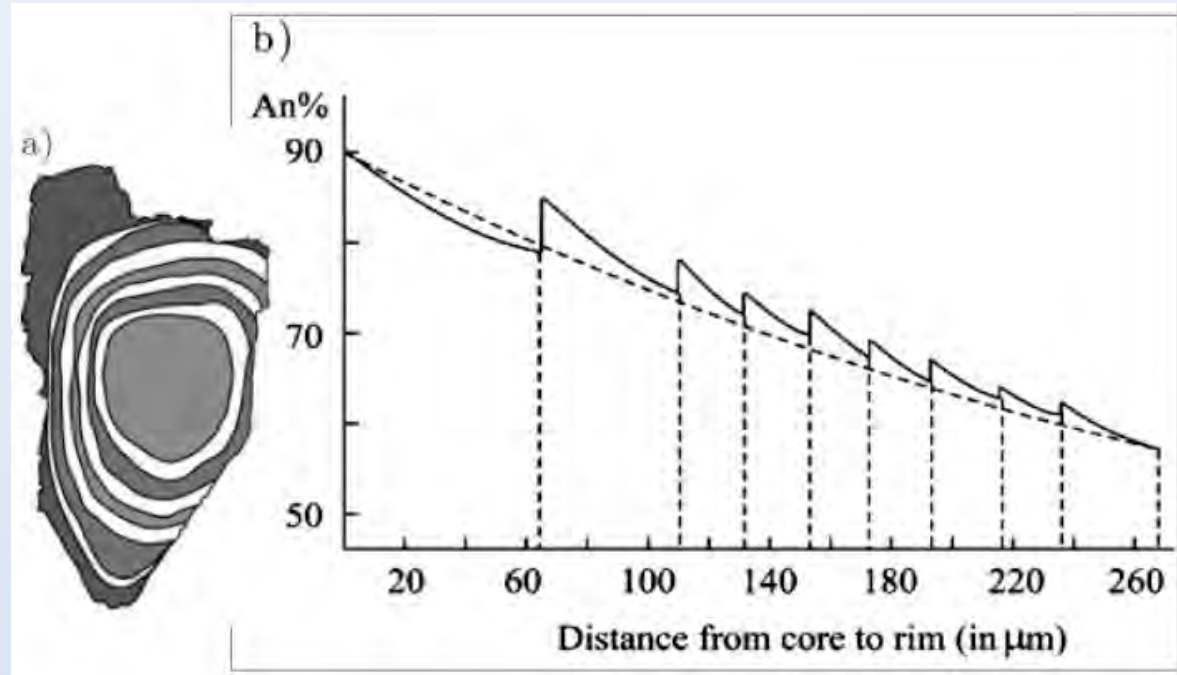
Risultato : il liquido si evolve (= si differenzia) molto di più e i cristalli sono ZONATI

Zonatura dei plagioclasii

Oltre a zonature semplici, molti plagioclasii possono essere caratterizzati anche da zonature concentriche oscillanti

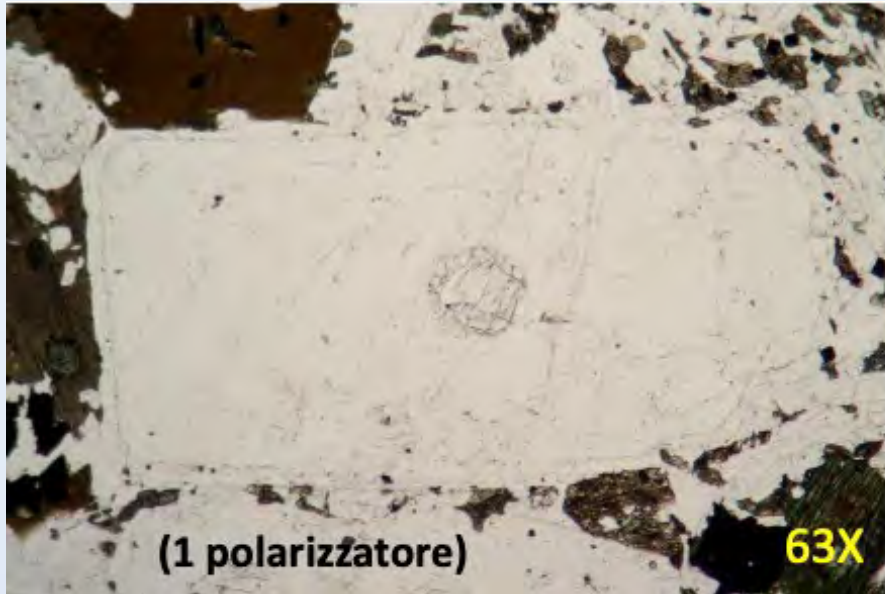


Plagioclasio zonato al microscopio a luce polarizzata (2 polarizzatori)

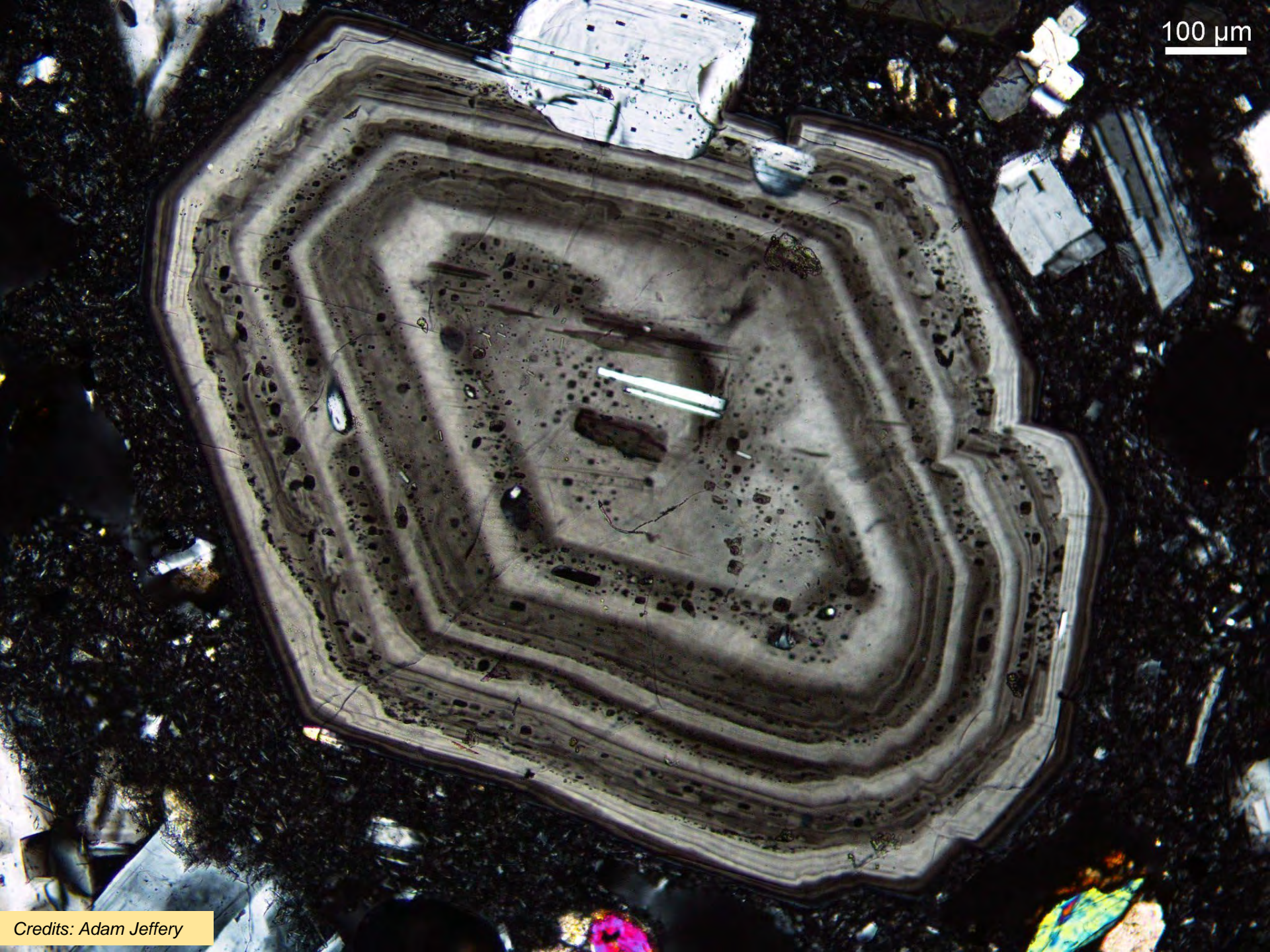


Zonatura dei plagioclasii

Oltre a zonature semplici, molti plagioclasii possono essere caratterizzati anche da zonature concentriche oscillanti



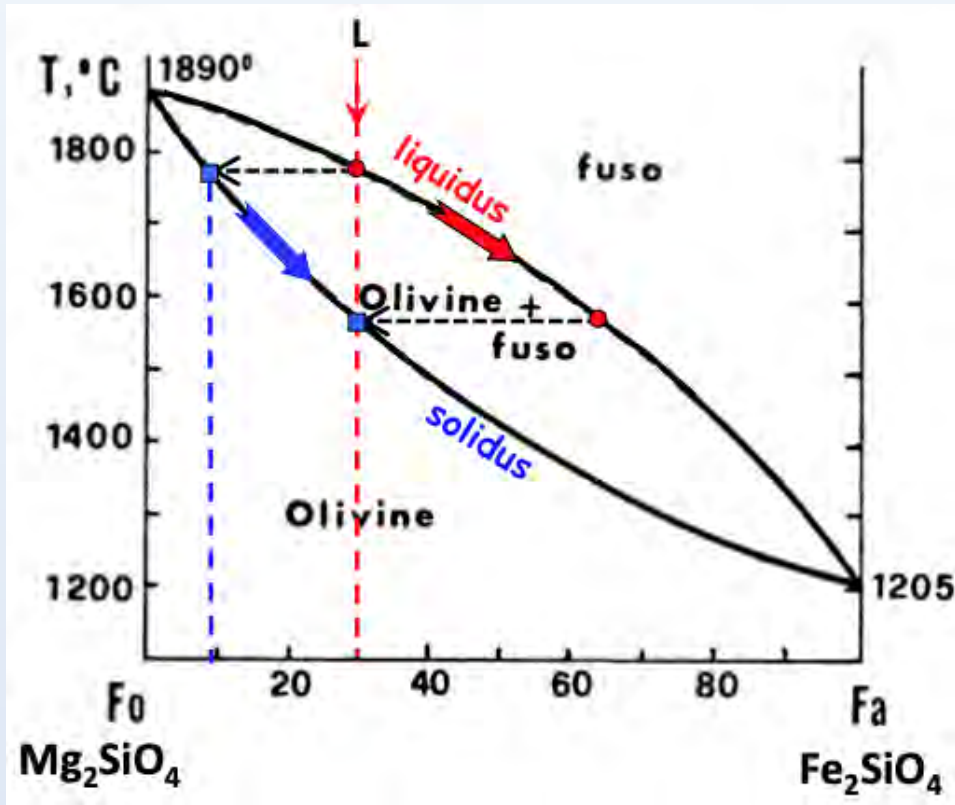
100 μ m



Credits: Adam Jeffery

Sistema binario con componenti completamente miscibili

Olivine – soluzioni solide isomorfe Forsterite (Mg_2SiO_4) – Fayalite (Fe_2SiO_4)



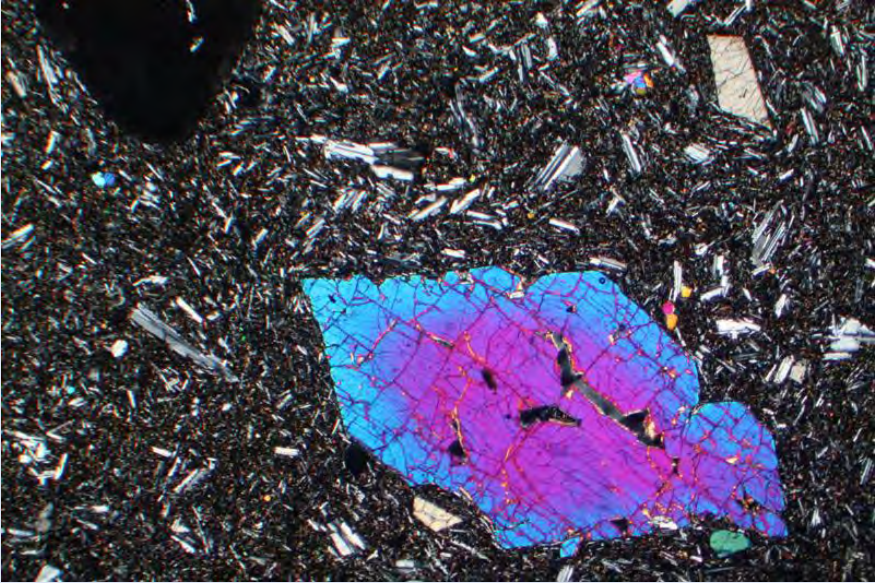
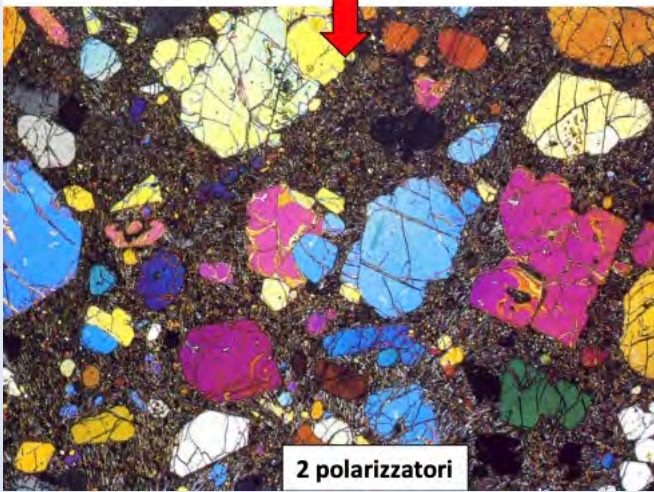
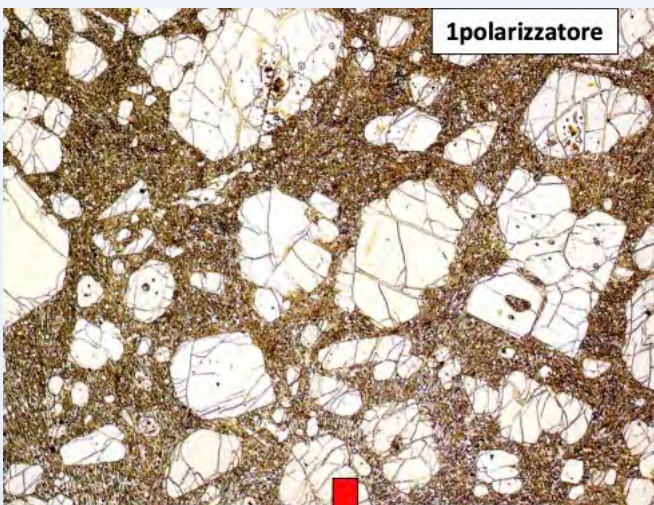
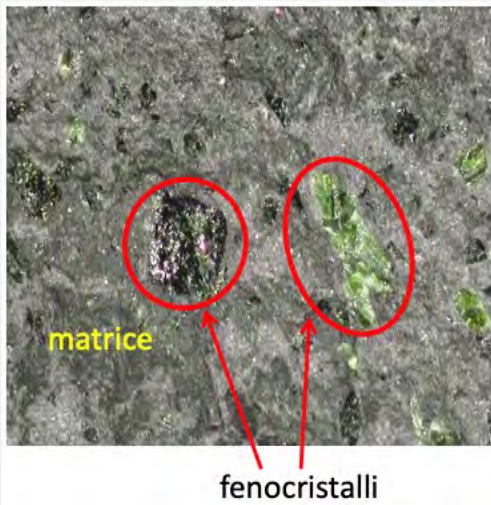
Il diagramma di fase è analogo a An-Ab. Quindi anche la sua lettura

Molte fasi sono zonate composizionalmente, ma non sempre la zonatura è ben visibile e determinabile al microscopio.

In alcuni casi la simmetria del cristallo permette la variazione con la composizione di alcune proprietà ottiche meno appariscenti: es. la zonatura dell'olivina e dell'ortopirosseno (rombici) si manifesta soltanto attraverso la variazione di colore e la birifrangenza, e non dell'angolo di estinzione come avviene nei plagioclasii.

Talvolta la zonatura non è più presente, data la facile riequilibratura del cristallo col liquido (solo per certi fasi), a causa del facile interscambio tra i cationi coinvolti (es. interscambio Fe-Mg nell'olivina).

Olivine – soluzioni solide isomorfe Forsterite (Mg_2SiO_4) – Fayalite (Fe_2SiO_4)



<http://www.alexstrekeisen.it/english/vulc/zoning.php>

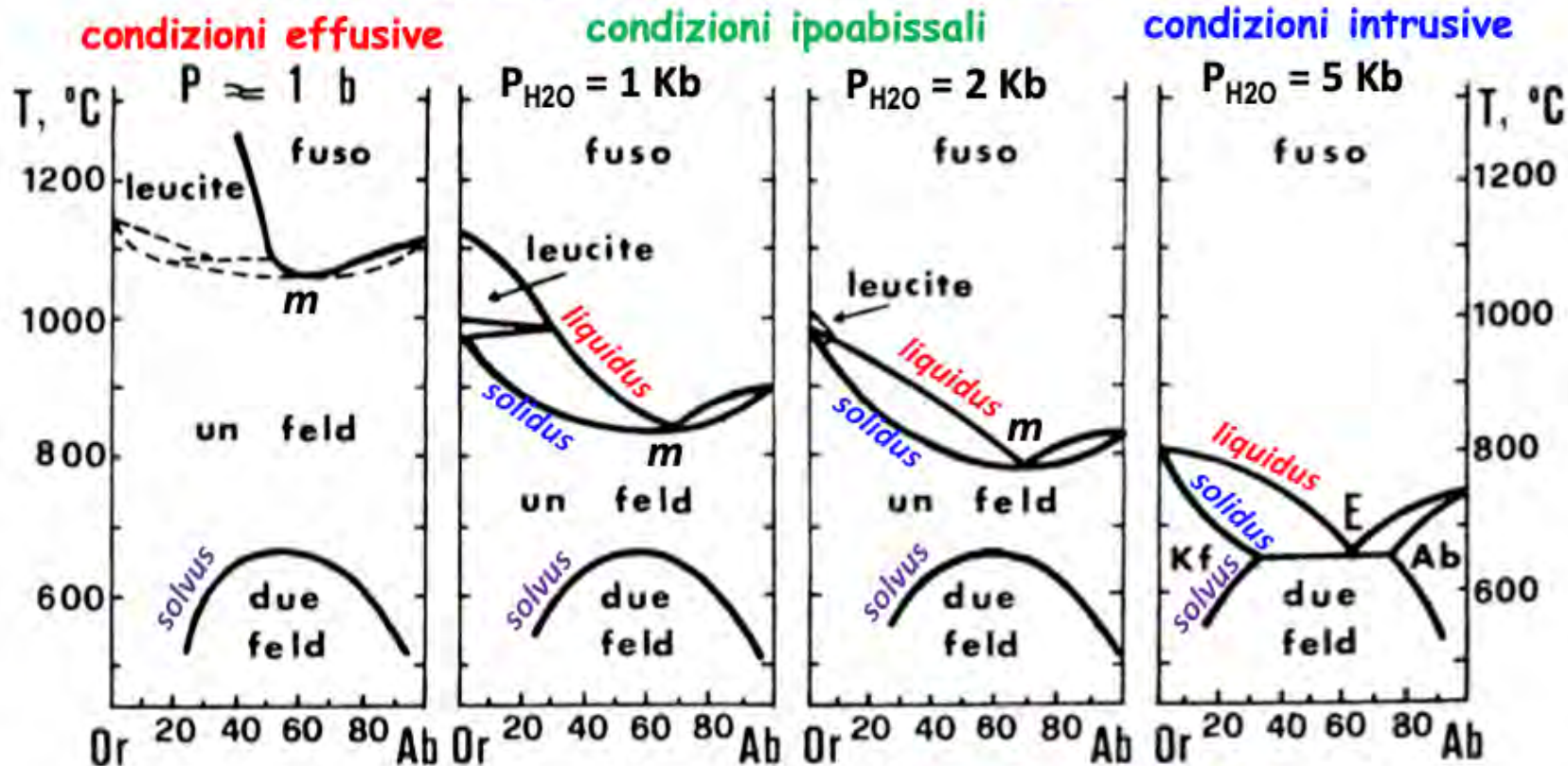
Sistema binario con componenti parzialmente o totalmente miscibili allo stato solido

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 $\approx 2.7\text{ g/cm}^3$)

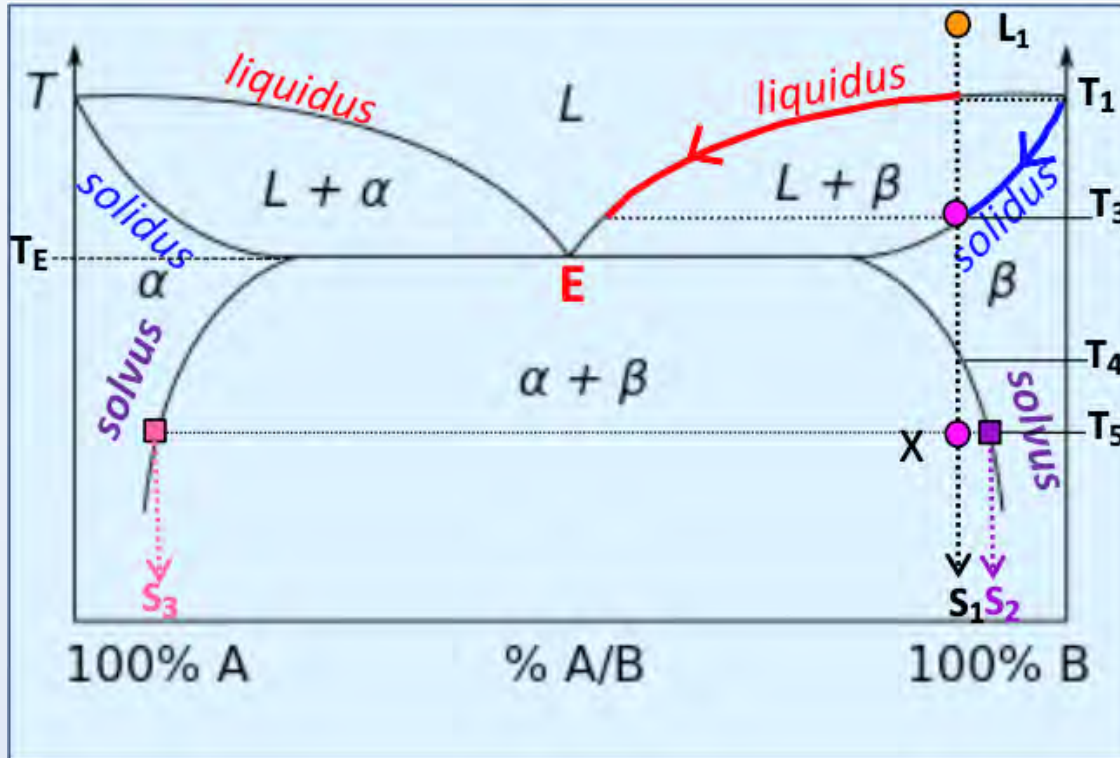


L'aumento della $P_{\text{H}_2\text{O}}$ abbassa le T di **liquidus** e **solidus**



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)

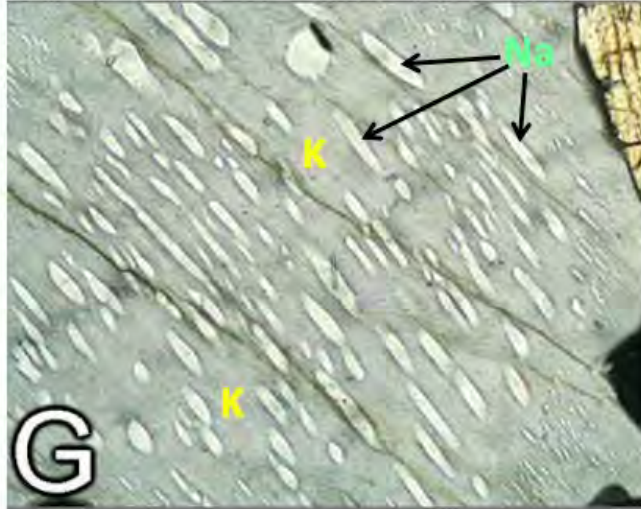
Il liquido L_1 inizia a cristallizzare in T_1 e termina in T_3 ; la composizione del solido β via via cambia e per una cristallizzazione all'equilibrio il solido finale β ha composizione $S_1 = L_1$.

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 .

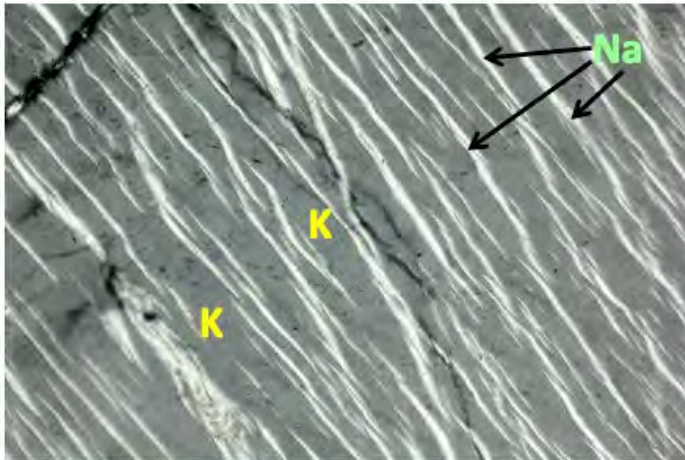
Sistema K-feldspato - Albite

(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)



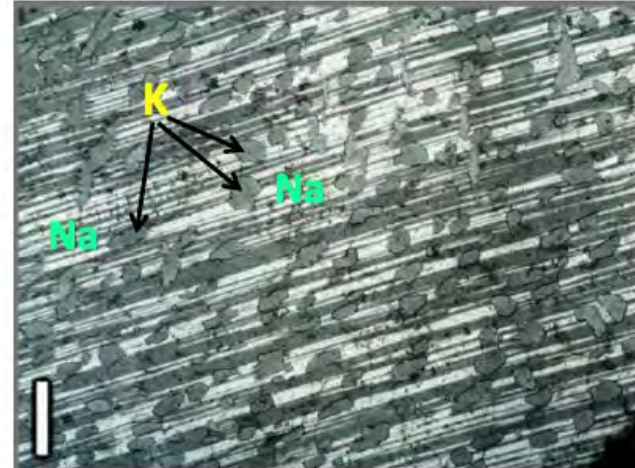
**IN ROCCE
INTRUSIVE**

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