

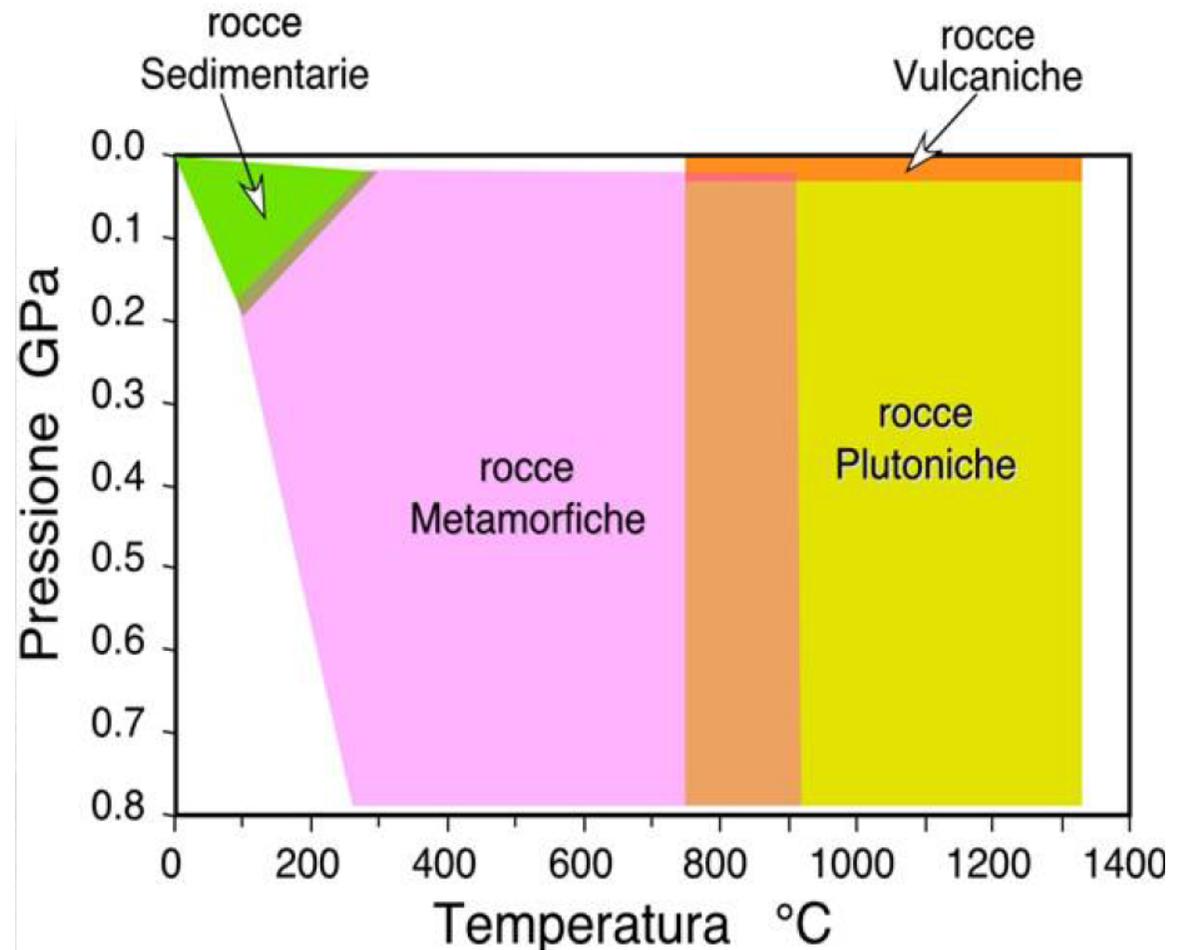
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Rocce magmatiche

Cosa sono le rocce magmatiche?

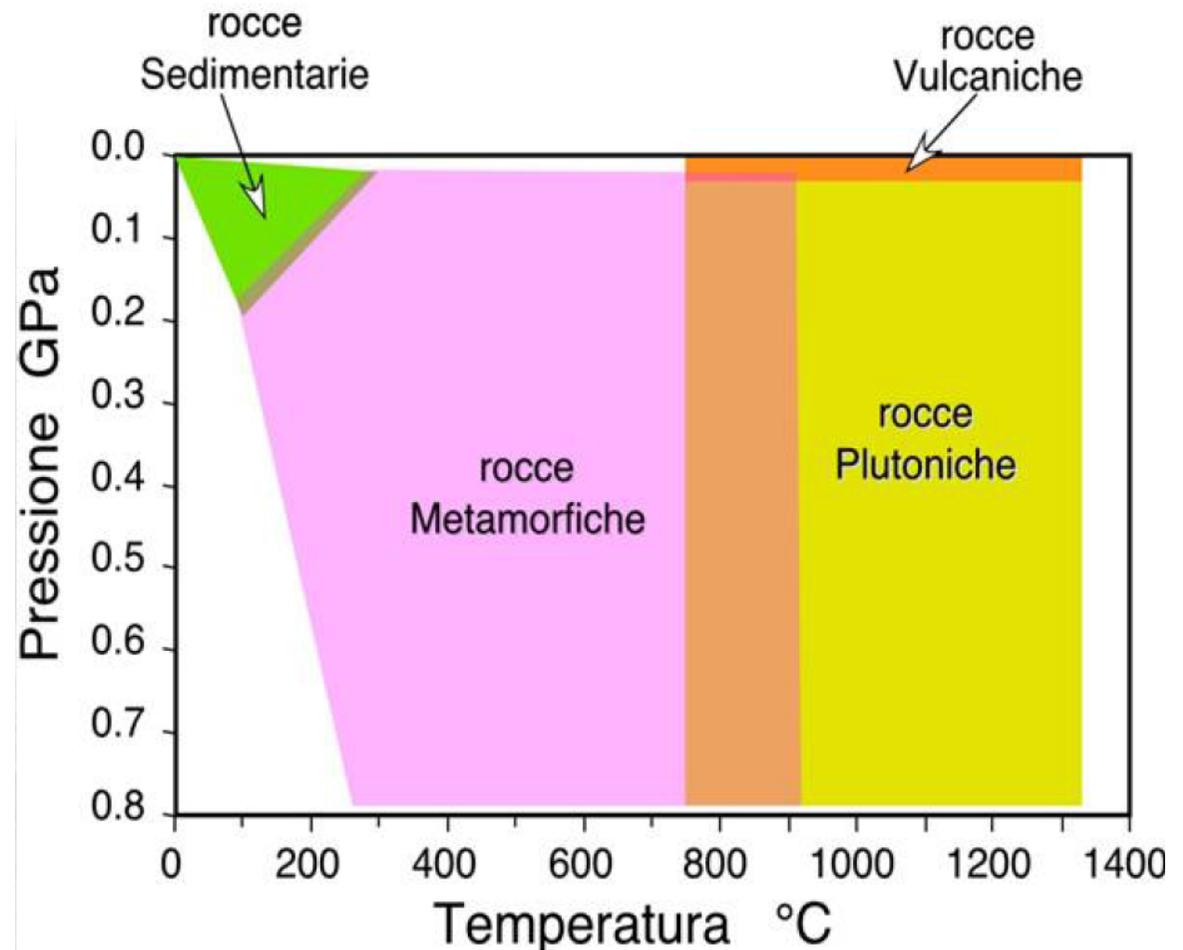
Rocce che si formano in ambienti in cui la **temperatura** e la **pressione** sono quelle che consentono la cristallizzazione o solidificazione di magmi

- Rocce magmatiche intrusive (plutoniche)
- Rocce magmatiche effusive (vulcaniche)

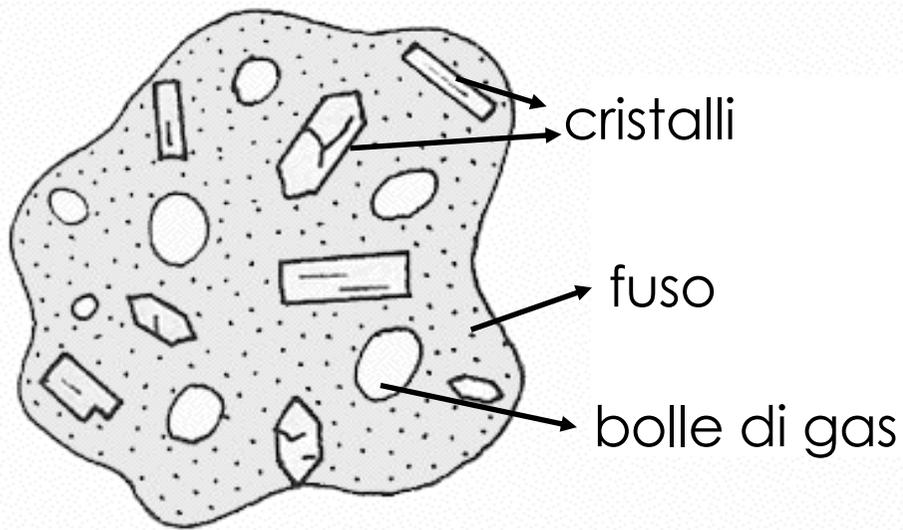


Cosa sono le rocce magmatiche?

Rocce magmatiche:
si formano per solidificazione
da un sistema fuso
(o prevalentemente fuso)
chiamato magma



Magma: è un *fuso naturale*, prevalentemente *silicatico*, in cui è presente una **fase fluida** (H₂O + altri volatili) tenuta in soluzione dalla pressione, e **cristalli e/o aggregati di cristalli** che possono essere il residuo di processi di fusione o il prodotto di una incipiente cristallizzazione materiale allo **stato fuso**, di una **elevata temperatura** ed **elevata mobilità** si genera entro la Terra (crosta profonda o mantello superiore) da luogo a intrusioni o effusioni, da cui si formano le rocce per solidificazione



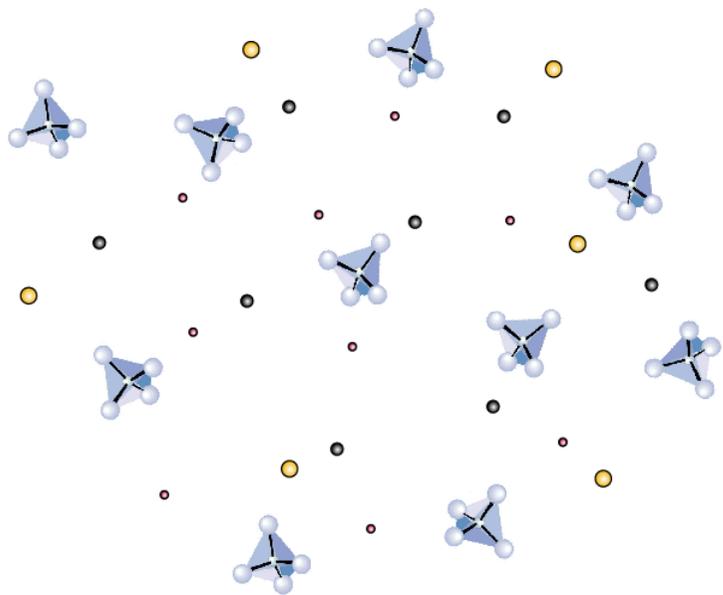
Magma: rappresenta una *situazione locale e temporanea*

- locale: perché si forma localmente, solo dove si realizzano le condizioni per la sua generazione per fusione di rocce → *anatessi*
- temporanea: perché dopo breve tempo geologico dalla sua formazione il magma è destinato a raffreddarsi e a passare allo stato solido.

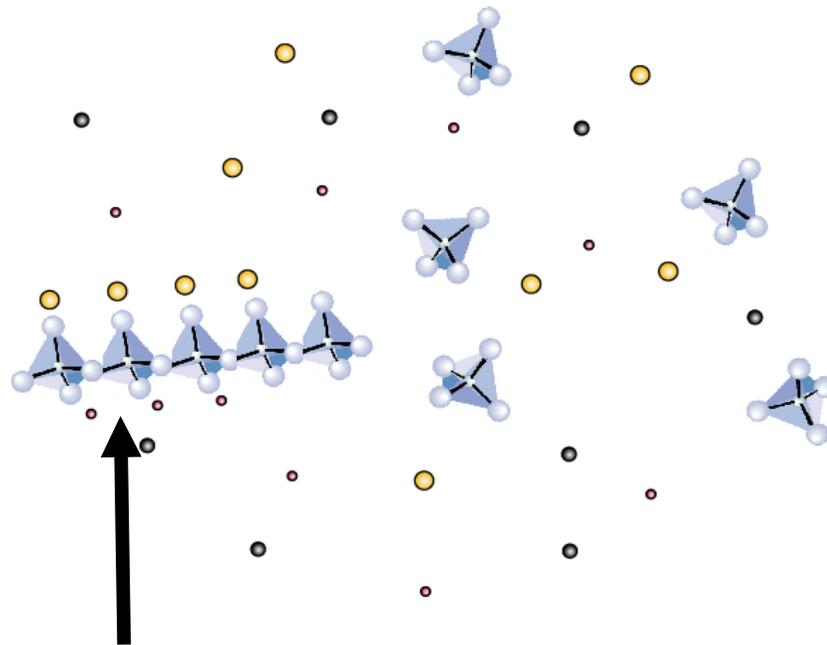
- 
- sistema fisico:
 - fase liquida
 - fasi solide
 - fase gassosa

- sistema chimico

- proprietà fisiche:
 - temperatura
 - pressione
 - viscosità
 - densità



Magma

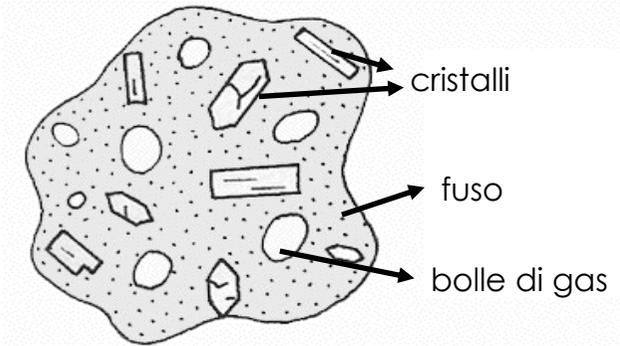


Cristallo in accrescimento

La crescita dei minerali necessita di tempo
Grandi cristalli = lento raffreddamento

- Sistema fisico magma

Coesistono, in diverse proporzioni, fasi a diverso stato fisico:
liquida, solida e volatile

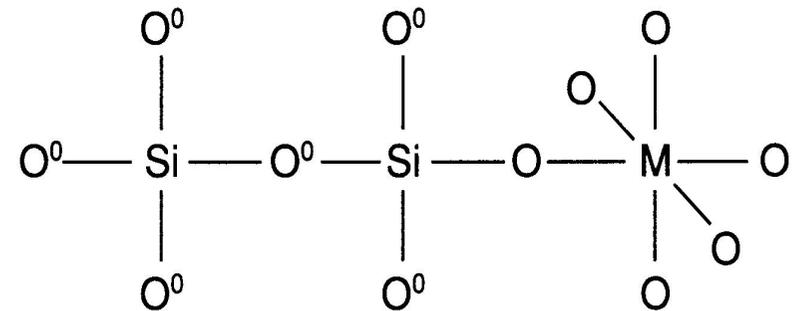
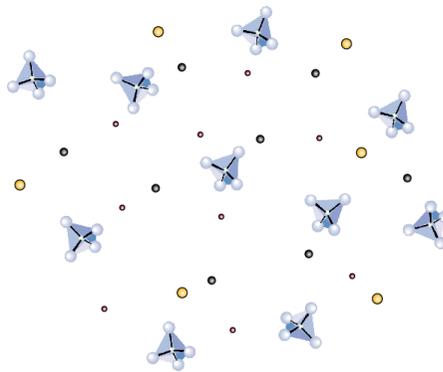


a) Fase liquida

fase liquida dei magmi silicatici: ha una struttura interna organizzata, che sta alla base anche di quella dei minerali silicatici che si formano dal suo raffreddamento

costituita da **anioni O^{2-}** organizzati in **strutture tetraedriche**, coordinati essenzialmente **Si**, che funge da **costruttore di struttura**

→ **tetraedri concatenati tra loro, polimerizzati**



Elementi costruttori di struttura: ioni caratterizzati da elevata forza di campo, che sostituiscono il Si: Al^{3+} , B^{3+} , P^{5+} .

Maggiore è il loro contenuto nel fuso e maggiore sarà il *grado di polimerizzazione del liquido*

Elementi modificatori di struttura: cationi metallici, che si legano con l'ossigeno interrompendo le catene $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$ e creando legami ionici più deboli:
 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} anche OH è un modificatore, determina la *diminuzione del numero di O-ponte*.



diminuzione del grado di polimerizzazione del sistema

A parità di composizione, il *grado di polimerizzazione* dei magmi sarà soggetto a cambiamenti nel tempo, in funzione di:

- separazione da esso di fasi cristalline → determina importanti cambiamenti compositivi della frazione liquida residua
- variazioni di pressioni legate alla risalita verso la superficie

grado di polimerizzazione è direttamente correlato a:

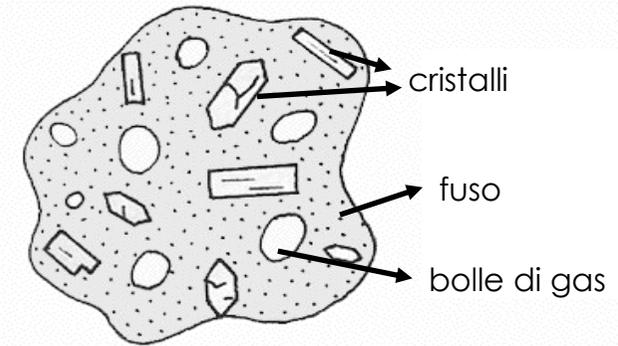
- densità
- viscosità

viscosità è tanto più alta quanto maggiore è il grado di *polimerizzazione*, e quindi il contenuto in Si

b) Fase solida

È data dall'insieme, più o meno numeroso, di *fasi solide* date da:

- **crystalli**: si formano da un magma completamente allo stato fuso, quando questo raggiunge temperature al di sotto della *curva del liquidus* per sistemi compositivi che lo formano
 - **xenoliti**: frammenti cristallini o litici che rappresentano porzioni strappate dalle rocce incassanti durante la risalita del magma
 - **aggregati cumulitici**: formati nei primi stadi di cristallizzazione nella parti più profonde della camera magmatica
 - **porzioni restitiche** delle rocce la cui fusione parziale ha generato il magma
- la loro **abbondanza** influenza in modo rilevante la **viscosità** del magma.



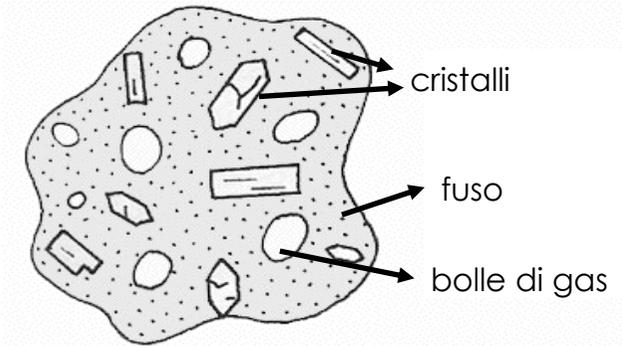
c) Fase gassosa

È data dall'associazione di *varie specie volatili*,

- elementi costituenti: **H, O, C, S, N e gas rari**
- danno origine a *diverse fasi gassose*, la cui *natura e quantità* dipende dalle condizioni di *pressione e temperatura*

La *presenza* di fase gassosa nei magmi è testimoniata da:

- *liberazione di sostanze volatili* durante attività effusive
- *formazione di fasi contenenti ossidrili e inclusioni fluide*



Risalita dei magmi verso la superficie: → diminuzione di pressione,
→ diminuzione solubilità dei gas



formazione **fase gassosa separata**

I gas si liberano dal magma in modo diverso a seconda della viscosità:

- **viscosità bassa**: la fase gassosa si liberarsi facilmente dal magma **attività fumarolica**
- **viscosità elevata**: il gas non si può liberare facilmente **attività esplosiva**

magmi	% gas (H ₂ O)	viscosità	esplosività
acidi	alta	alta	alta
basici	bassa	bassa	bassa

Classificazione delle rocce magmatiche

Sulla base dei caratteri chimici {

- acido-basico
- saturazione in SiO_2
- saturazione in Al_2O_3
- alcalinità
- indice alcali-Ca

Sulla base delle modalità di raffreddamento {

- rocce plutoniche
- rocce vulcaniche
- rocce subvulcaniche
- rocce filoniane

→ struttura

- olocristallina
- porfirica
- vetrofirica
- vetrosa

Composizione mineralogica quantitativa reale (**moda**)

mineralogica quantitativa virtuale (**norma**) (CIPW; Niggli)

Composizione

Le rocce → corpi geologici → vari criteri di classificazione geologica

Composizione chimica di una roccia

wt% (% in peso) degli ossidi dei vari elementi che la costituiscono:
SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, FeO, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅

- elementi maggiori (wt% > 1)
- elementi minori (0.1 < wt% < 1)
- minori + maggiori \simeq 100
- elementi in tracce: concentrazioni bassissime (ppm)

Il **Fe** ha comunemente 2 diversi stati di ossidazione: FeO o Fe₂O₃;
Fe²⁺/Fe³⁺ dipende dal carattere ossidante o meno dell'ambiente.

H₂O: - in parte debolmente legata, adsorbita (acqua igroscopica)
viene persa a 110°C (per convenzione si indica come H₂O-)
- in parte intimamente legata nelle strutture dei minerali delle
rocce (= acqua di costituzione) viene persa a 1000°C circa (H₂O+)

P.C. o P.F. o L.O.I. = perdita alla calcinazione o perdita al fuoco
(T=1100°C) = H₂O + CO₂

	Peridotite	Basalto alc.	Fonolite	Trachite	Basalto subalc.	Andesite	Tonalite	Grano-diorite	Granito
SiO ₂	42	43,5	57	60	49	55	60	66,5	73
TiO ₂	0,1	3	0,5	0,8	1,5	1	0,8	0,5	0,3
Al ₂ O ₃	2	15	20	17,5	16	17,5	17,2	16	13,8
Fe ₂ O ₃ tot	12	12	4	5	12	8	7	4	2
MgO	43	9	1	1,5	7,5	4,5	3	1,5	0,4
CaO	1	12	1,5	2,2	10,5	8	5,5	3,5	1,5
Na ₂ O	< 0,1	3,5	9	7	3	3,5	3,5	3,5	3,5
K ₂ O	< 0,1	1,5	6	5	0,5	1,5	2	3,5	5
H ₂ O	—	0,5	1	1	0,5	1	1	1	0,5

Saturazione in silice

Ricordando che la composizione mineralogica di una roccia dipende dalla composizione chimica:

- rocce con SiO_2 % alta: contengono quarzo
- rocce con SiO_2 % bassa: consumano silice per fare silicati (no SiO_2 libera)
- rocce con SiO_2 % estremamente bassa: ulteriori limitazioni sul tipo di silicati che possono formarsi, si formano silicati poveri in SiO_2

Ipotezzando che il silicio formi un acido debole e gli altri cationi metallici maggiori si comportino da basi
→ una roccia a più alto contenuto in SiO_2 è considerata più acida di un'altra con meno silice

- rocce acide $\text{SiO}_2 > 66\%$	- rocce basiche $\text{SiO}_2 = 45-52\%$
- rocce intermedie $\text{SiO}_2 = 52-66\%$	- rocce ultrabasiche $\text{SiO}_2 < 45\%$

Saturazione in allumina

Si considera il rapporto fra Al_2O_3 e (alcali + CaO)

Le fasi mineralogiche con rapporto $\frac{\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO}}{\text{Al}_2\text{O}_3} = 1$ sono

KAlSi_3O_8	ortoclasio
$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	albite
NaAlSiO_4	nefelina
KAlSi_2O_6	leucite

se $< 1 \Rightarrow$ si formano silicati con eccesso di Al_2O_3 : Ms, Crn, Al-Sil;

se $> 1 \Rightarrow$ si formano minerali femici ricchi in Na, non alluminiferi:
- Amfiboli: riebekite Pirosseni: egirina, egirinaugite

A seconda del rapporto fra Al_2O_3 e alcali + CaO, si possono avere:

- Rocce peraluminose: - $\text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$
 - con Ms e Al-minerali (Al-sil, Crd, Grt);
 - sempre di rocce acide

- Rocce alluminosature: - $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$
 - con Felds e/o Qtz e/o Bt e/o Opx e/o Cum e/o Ol;
 - femici privi di CaO (CaO è legato a Al_2O_3 nei Pl);
 - rocce acide (prevalentemente), intermedie e basiche

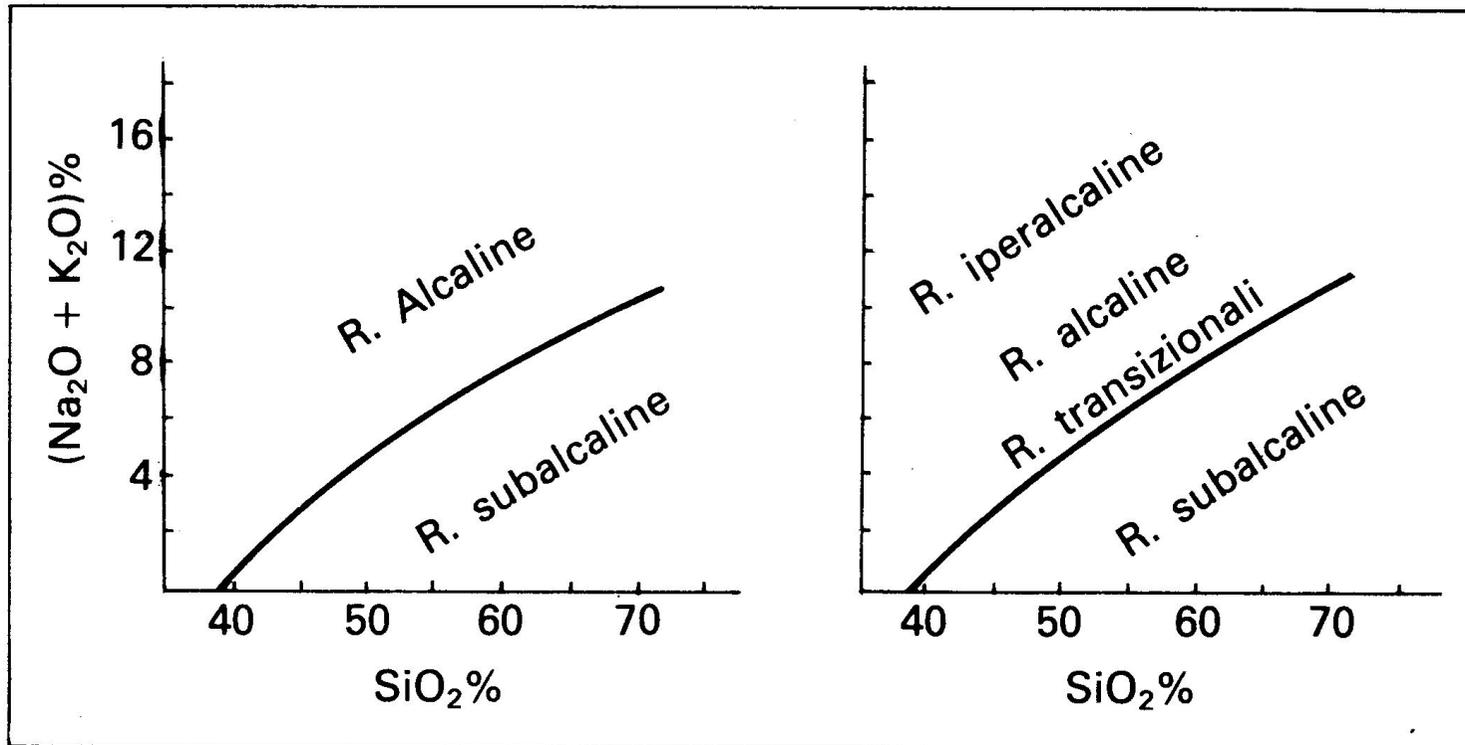
- Rocce metaluminose: - $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) < \text{Al}_2\text{O}_3 < (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$
 - minerali femici calciferi: Cpx e/o Hbl accanto a Pl;
 - soprattutto rocce intermedie e basiche; < acide

- Rocce subaluminose: - $\text{Al}_2\text{O}_3 \sim (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$
 - alcalifeldspati (no Pl), Cpx e/o Hbl;
 - poche rocce intermedie o acide

- Rocce peralcaline: - $\text{Al}_2\text{O}_3 < (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$
 - Na-Px, Na-Am;
 - rocce intermedie e acide;
 - $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) =$ indice appaitico: delimita a valori inferiori a 1 le rocce peralcaline.

Alcalinit 

- contenuto in alcali   un parametro importante sia descrittivo che genetico;
- viene valutato confrontando rocce con simili contenuti in SiO_2 ;



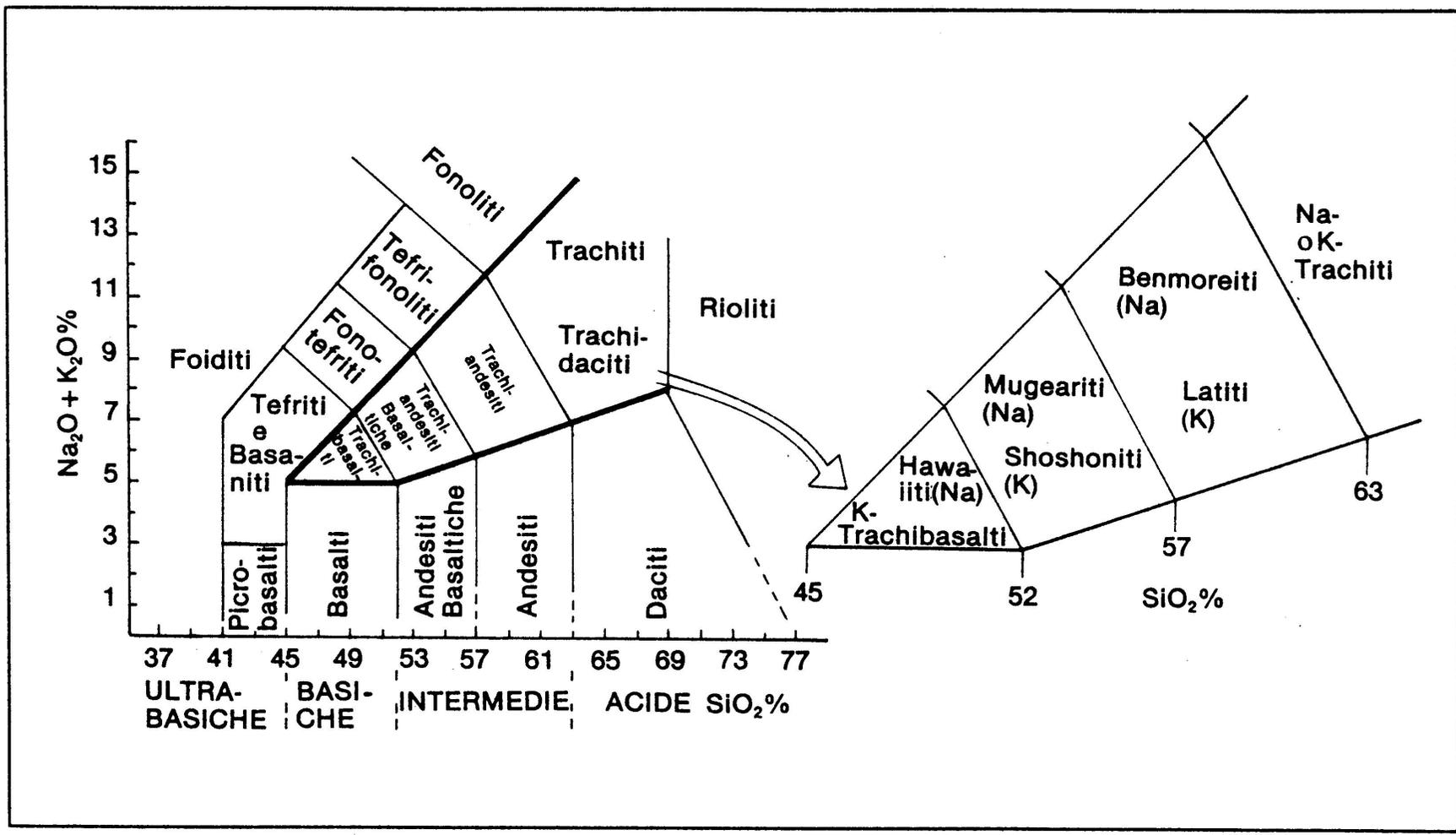
EVOLUZIONE DEI MAGMI

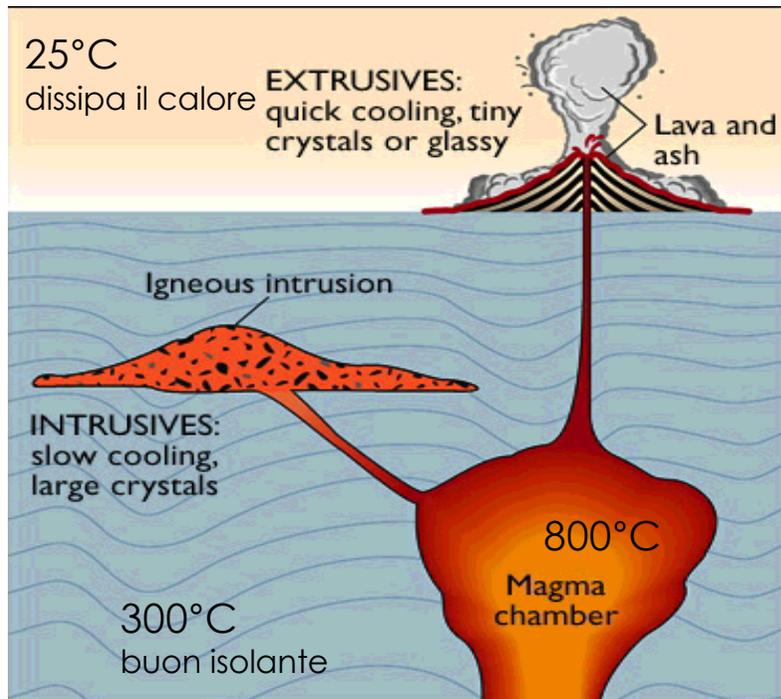
In natura esistono un gran numero di rocce magmatiche

Questo farebbe pensare ad un gran numero di magmi primitivi (magmi formatisi direttamente da fusione), tanti quanti sono le rocce

Tuttavia ci si è presto resi conto che molte rocce magmatiche sono geneticamente legate tra loro, e derivano dall'evoluzione di pochi magmi primitivi (2 o 3)

Esistono quindi dei processi che portano all'evoluzione dei magmi e producono, a partire da un dato magma, magmi e rocce differenti





- La velocità di raffreddamento del magma determina il tipo di roccia che si formerà:
a grana fine → **effusiva**,
a grana grossa → **intrusiva**

PIROCLASTICHE: sono il risultato di emissioni vulcaniche esplosive, tipicamente viaggiano attraverso l'aria, e si depositano come livelli di ceneri, masse vetrose e pomici.

INTRUSIVE (plutoniche): si formano in profondità per cristallizzazione di un magma. A causa dell'isolamento delle rocce circostanti, il raffreddamento è lento e pertanto i cristalli sono in grado di accrescere

EFFUSIVE (vulcaniche): si formano per rapido raffreddamento di un magma, dovuto per la dissipazione del calore in superficie.

Una volta formato, il magma tende a risalire



cede calore e si raffredda



iniziando così i processi di cristallizzazione.

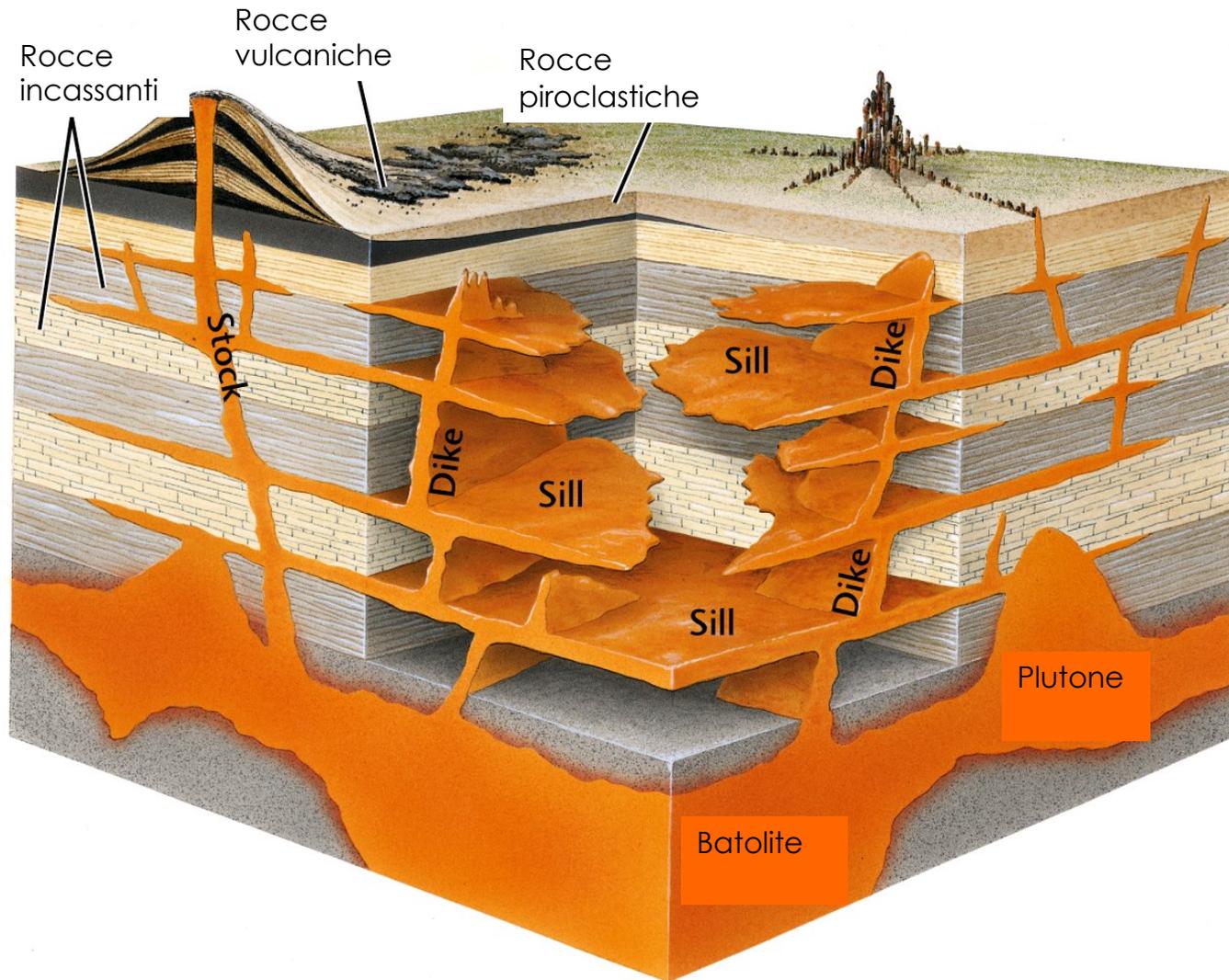
In base alla velocità di risalita, il magma può:

fuoriuscire sulla superficie → **rocce vulcaniche** o **effusive**

cristallizzare a scarsa profondità → **rocce sub-vulcaniche**

cristallizzare in profondità → **rocce plutoniche** o **intrusive**

dare origine a **corpi filoniani** sia plutonici che subvulcanici



Struttura: la disposizione delle parti di una roccia (a prescindere dalla scala) includendo le relazioni spaziali tra le parti, le loro dimensioni e forme relative e le caratteristiche interne delle parti (micro-, meso-, mega-).

Grana della roccia (dimensioni dei cristalli)

$\varnothing > 25$ mm	pegmatitica
$10 < \varnothing < 25$ mm	molto grossa
$5 < \varnothing < 10$ mm	grossa
$1 < \varnothing < 5$ mm	media
$0.1 < \varnothing < 1$ mm	fine
$\varnothing < 0.1$ mm	molto fine

Importanza della struttura: Granito, riolite, ortogneiss e arenaria poco matura hanno la stessa composizione mineralogica e chimica ma sono caratterizzate da struttura diversa

Le rocce magmatiche possono essere classificate anche in base alla composizione chimica:

Rocce magmatiche basiche mafiche-femiche → effusive, intrusive

Rocce magmatiche acide sialiche → effusioni esplosive, corpi subvulcanici intrusive

	Ultrafemiche (o ultrabasiche)	Iposiliciche (o basiche)	Mesosiliciche (o intermedie)	Persiliciche (o acide)
%SiO ₂	45	52	65	73
(Fe,Mg):(Si,Al)	<i>FeMiche</i>		<i>SiAliche</i>	
	scure		intermedie	chiare

APPROCCIO AL RICONOSCIMENTO MACROSCOPICO

- 1) Si osserva la roccia e si descrive la struttura;
tipi di strutture
grana della roccia
- 2) Valutazione del colore (solo se “fresche”);
*indicazioni sul chimismo ??? **Si e no !!!***
- 3) Si riconoscono i minerali;
- 4) Si osservano i rapporti quantitativi tra minerali
(solo in rocce intrusive)

Si dà il nome alla roccia (seguendo uno schema classificativo):
→ *diagramma di Streckeisen (in base all'indice di colore M)*

o altri diagrammi specifici (purchè i minerali siano visibili)

Minerali comuni in rocce ignee

Table 5-1 Common Minerals of Igneous Rocks

Compositional Group	Mineral	Chemical Composition	Silicate Structure	%SiO ₂
Feldspato Silice (quarzo)	Quartz	SiO ₂	Frameworks	100%
	Potassium feldspar	KAlSi ₃ O ₈		65%
	Plagioclase feldspar	{ NaAlSi ₃ O ₈ CaAl ₂ Si ₂ O ₈		65%
	Muscovite (mica)	KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	Sheets	45%
Magnesio Ferro	Biotite (mica)	{ K Mg Fe Al } Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂		36%
	Amphibole group	{ Mg Fe Ca Na } Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	Double chains	40%
	Pyroxene group	{ Mg Fe Ca Al } SiO ₃	Single chains	48%
	Olivine	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	Isolated tetrahedra	30%



Quarzo



Plagioclasio



Feldspato
potassico



Biotite



Anfibolo



Muscovite



Picrosphenic

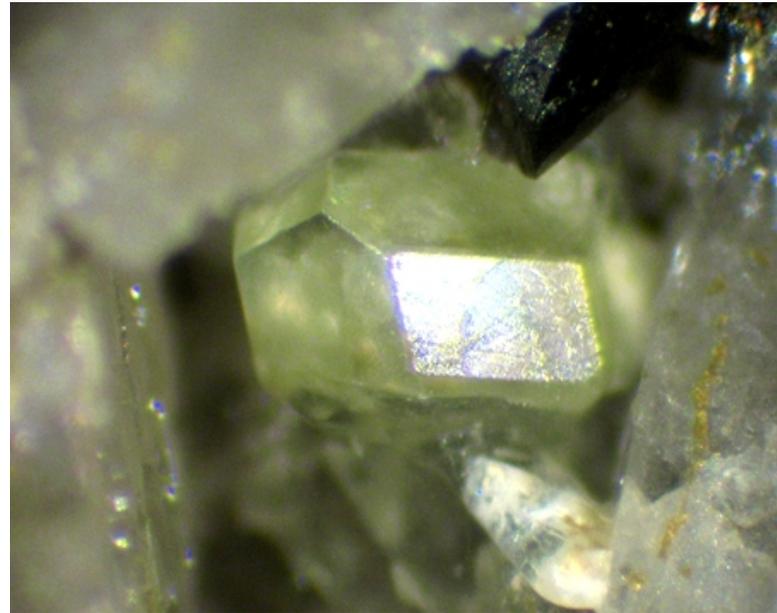


Olivine

Feldspatoidi



Leucite



Noseana (sodalite)

Rocce Magmatiche **INTRUSIVE**

Cristallizzazione in una camera magmatica localizzata in profondità, ***nella crosta terrestre***

Condizioni

- Raffreddamento molto lento → ***lenta cristallizzazione***
- La fase fluida rimane in soluzione → buona mobilità degli ioni
- Ambiente di cristallizzazione generalmente privo di stress.

Conseguenze

- Il magma cristallizza completamente (assenza di vetro) → ***struttura olocristallina.***
 - Dimensioni apprezzabili dei cristalli → ***struttura faneritica***
 - No salto dimensionale tra cristalli → ***struttura equigranulare***
 - Assenza di orientazioni preferenziali dei cristalli
- strutture di flusso possono formarsi nelle zone periferiche dei plutoni.

→ ***CLASSIFICAZIONE MACROSCOPICA FACILE***

STRUTTURE comuni delle rocce intrusive

Olocristallina: tutta la roccia è cristallizzata (manca vetro)
(lenta cristallizzazione)

Granulare: non ci sono salti dimensionali tra il cristallo più piccolo e quello più grande

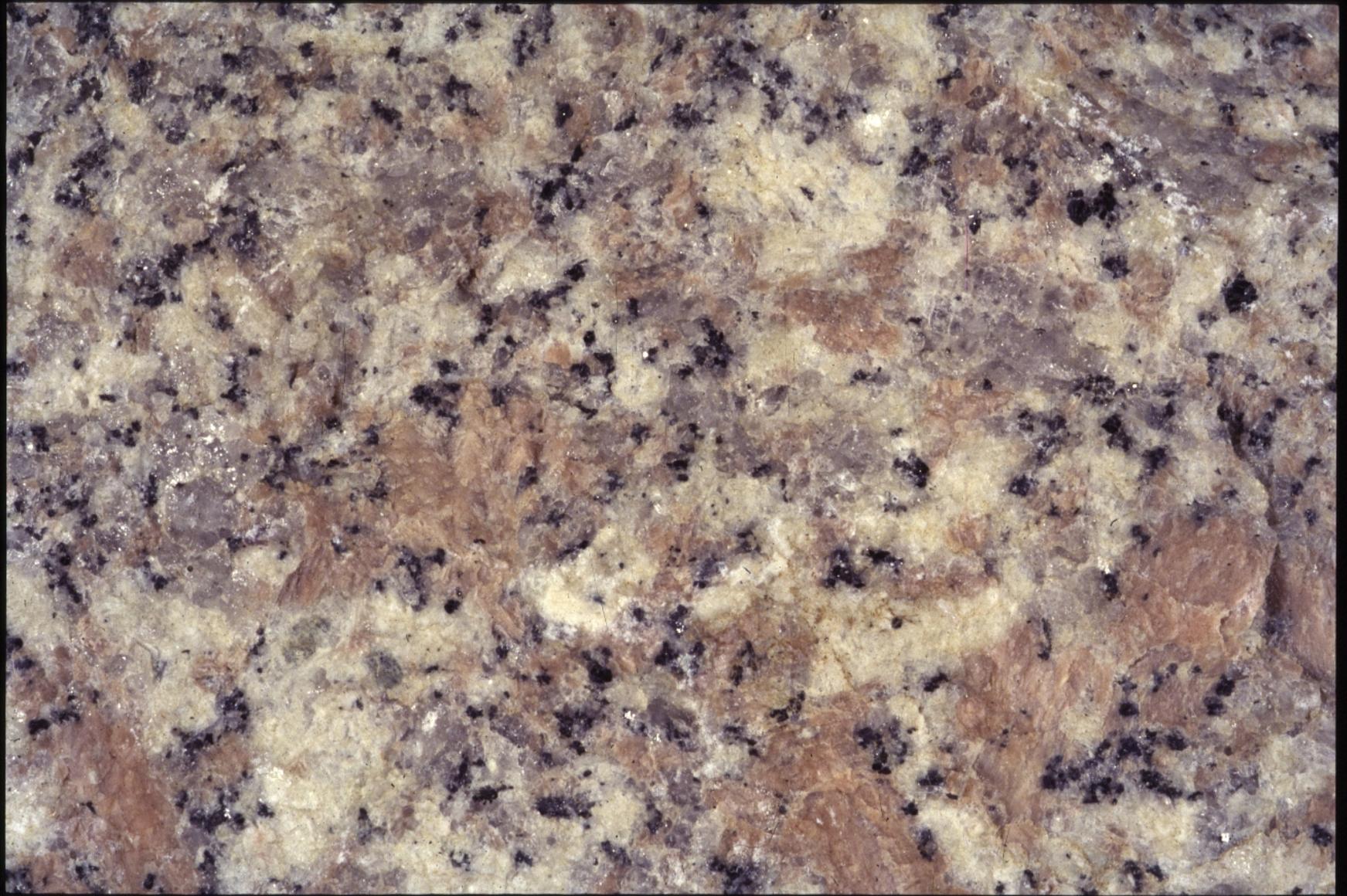
Ipidiomorfa: presenza contemporanea di minerali idiomorfi ed allotriomorfi

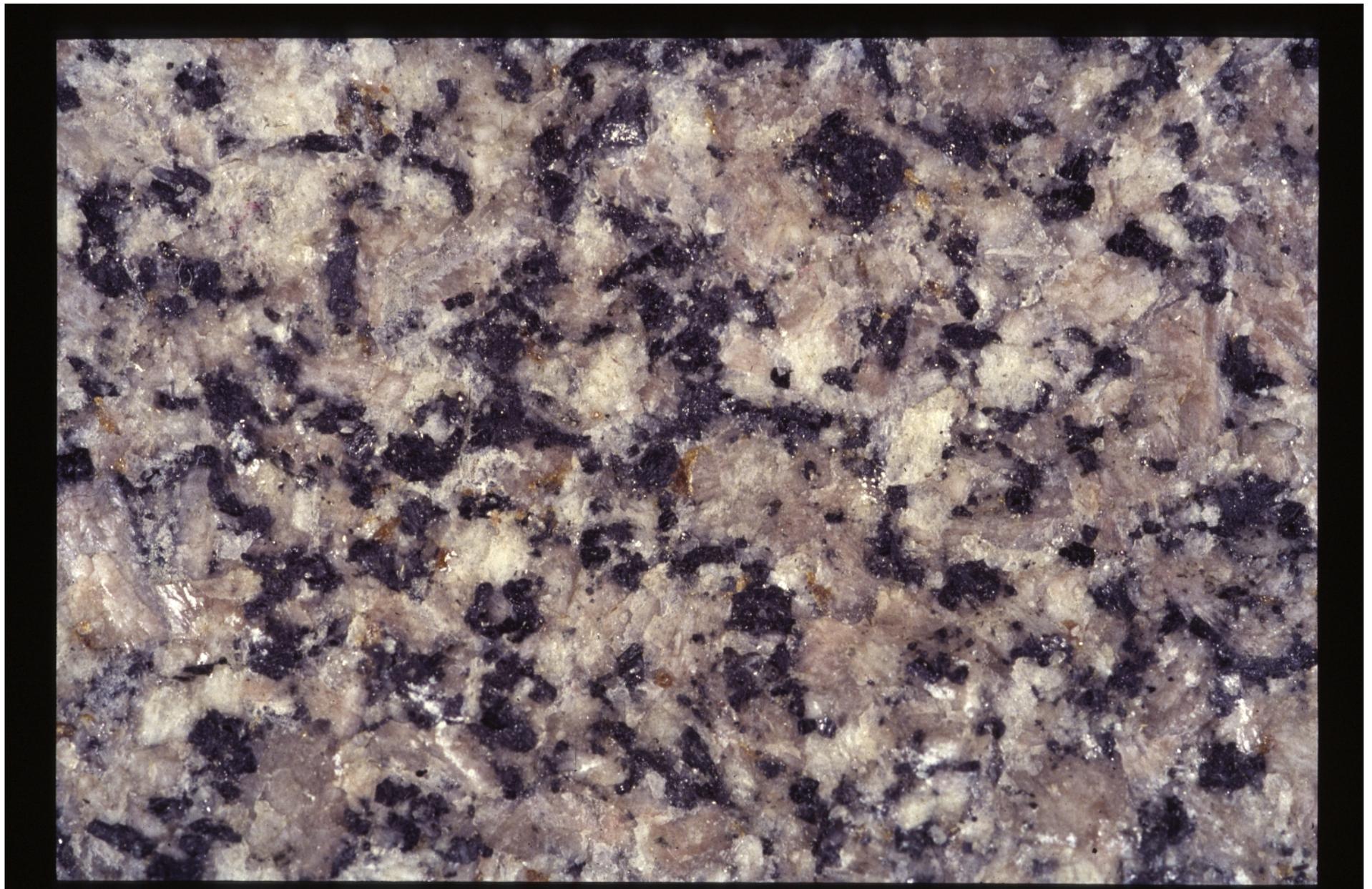
Granitica: idiomorfi i femici

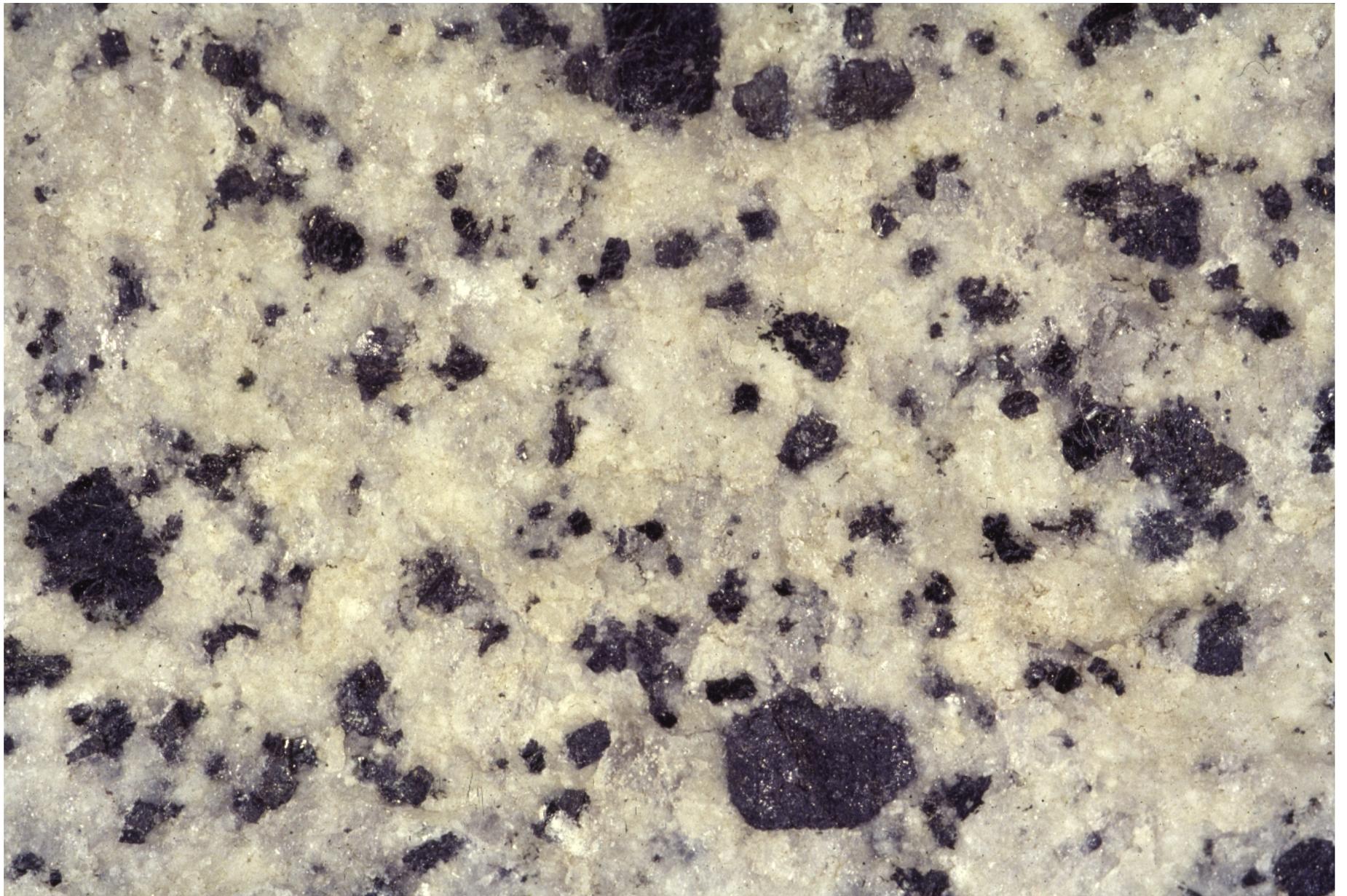
Ofitica: idiomorfi i sialici

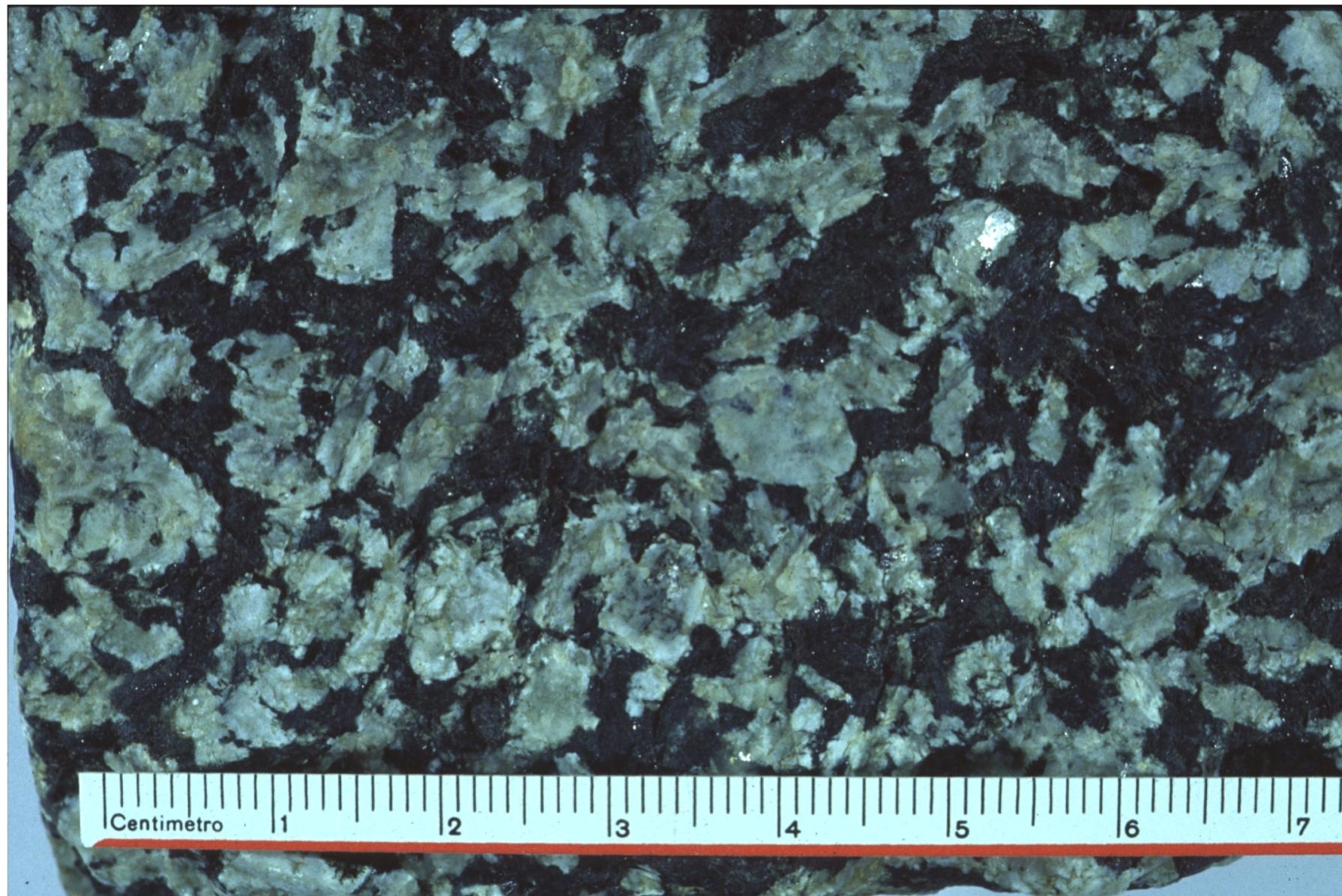
Panidiomorfa: tutti i minerali hanno la stessa tendenza all'idiomorfismo

Panxenomorfa: tutti i minerali hanno la stessa tendenza all'allotriomorfismo





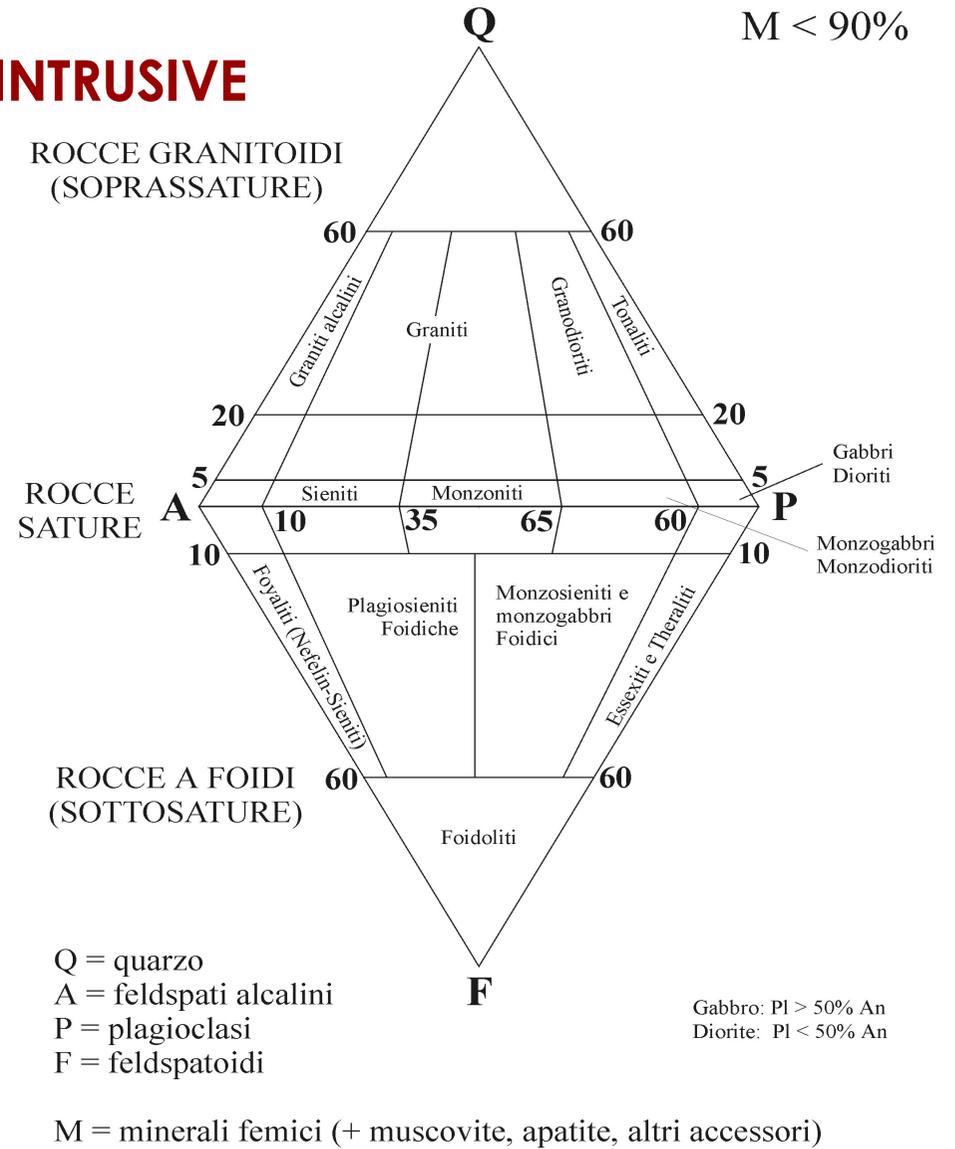




Classificazione ROCCE MAGMATICHE INTRUSIVE

Si basa sulla composizione mineralogica della roccia, ed in particolare sul rapporto tra minerali chiari

Diagramma di Streckeisen
QAPF



Classificazione in base all'indice di colore

M % (indice di colore): volume % di tutti i minerali scuri rapportato al volume totale dei minerali presenti nella roccia.

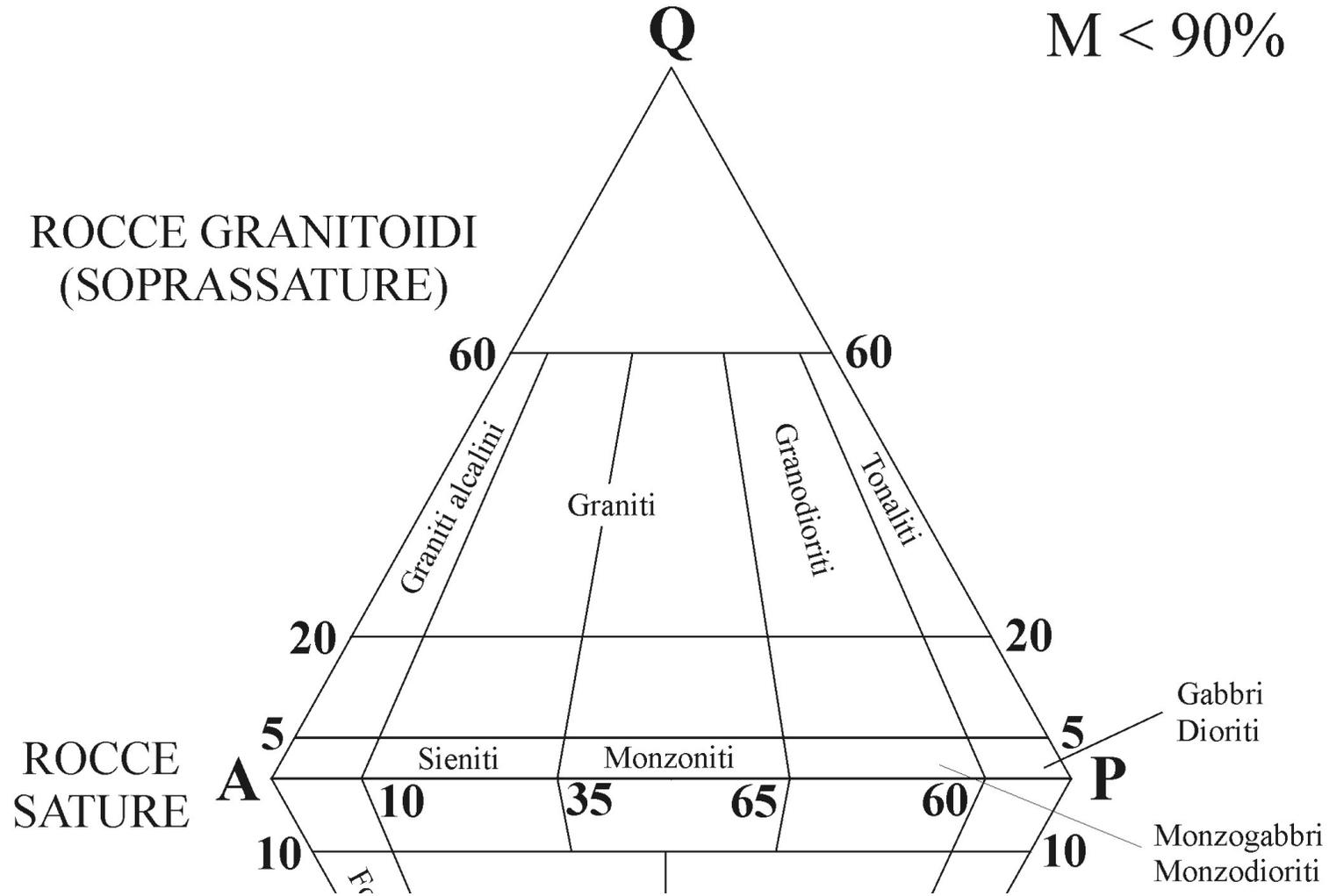
Va usata **esclusivamente con le rocce intrusive**

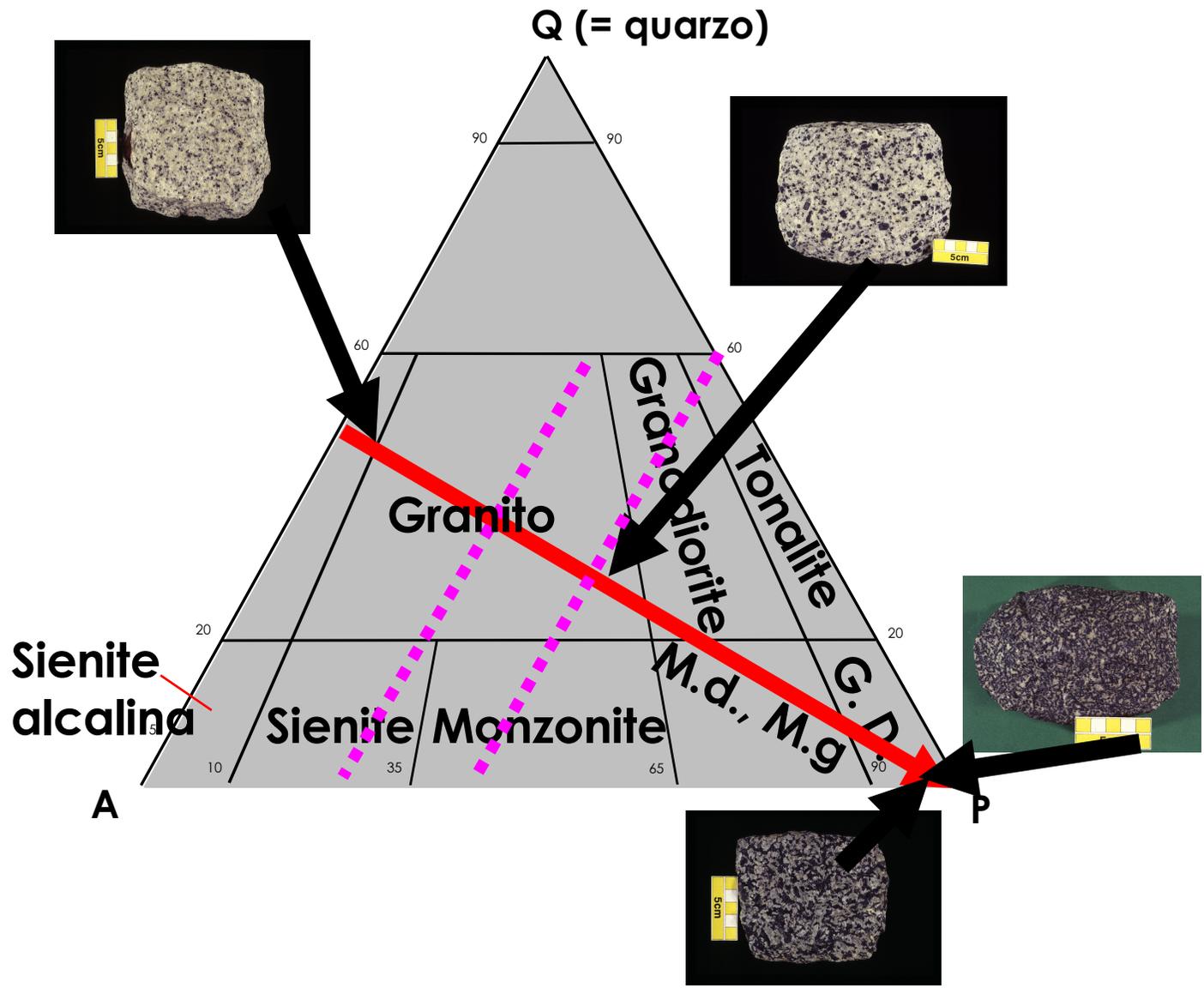
Il colore delle rocce effusive è estremamente variabile anche a chimismo costante e trae generalmente in inganno

Per **$M < 90\%$** : schema classificativo di **Streckeisen**

Per **$M \geq 90\%$** : rocce ultrafemiche (diagrammi specifici)

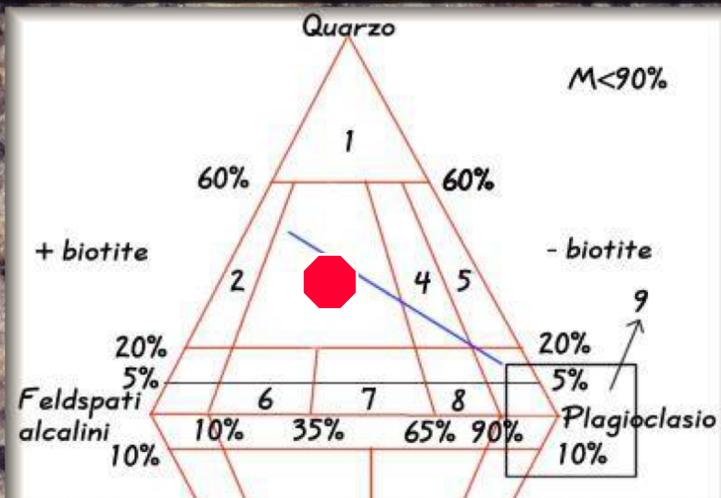
ROCCE INTRUSIVE





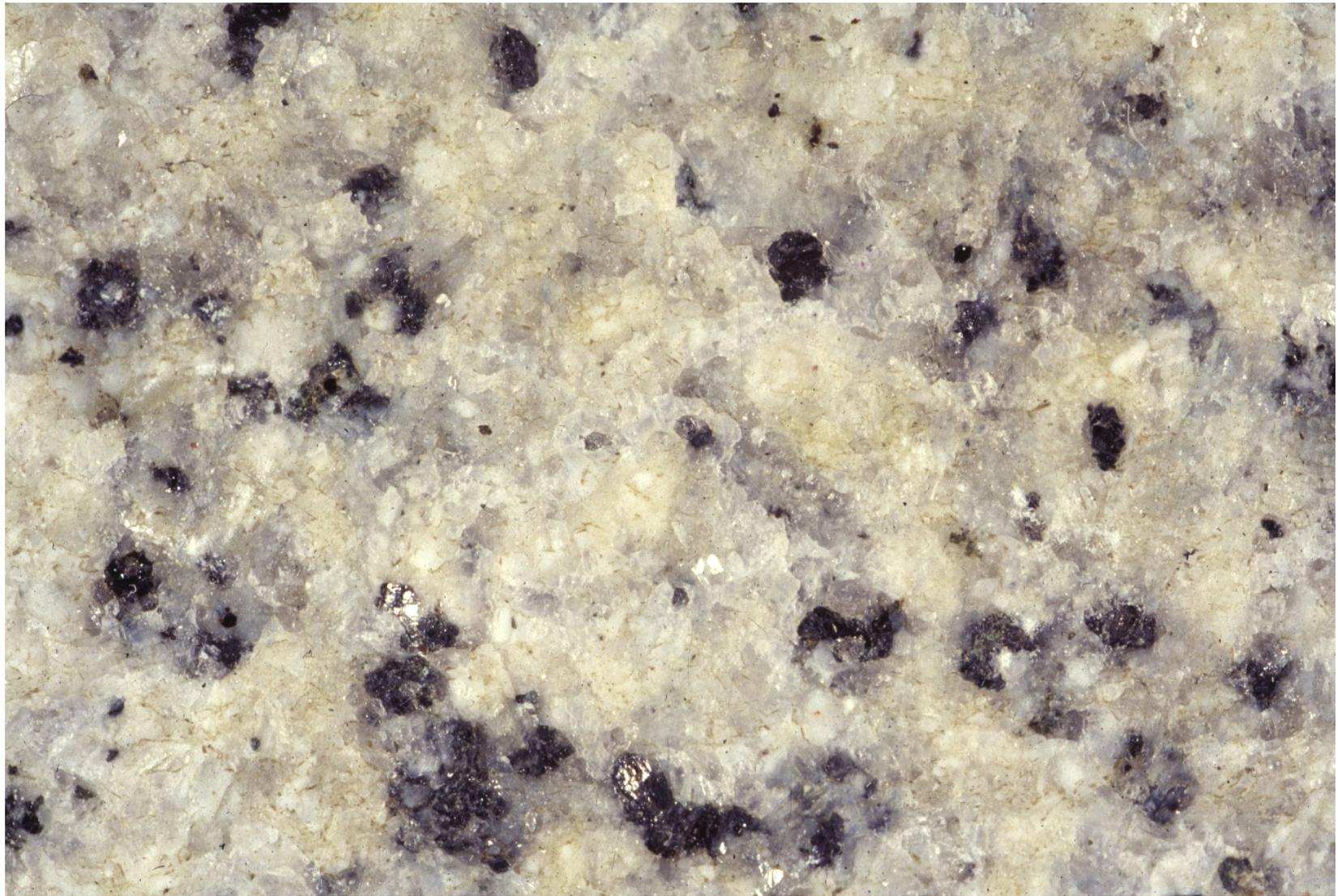
Granito

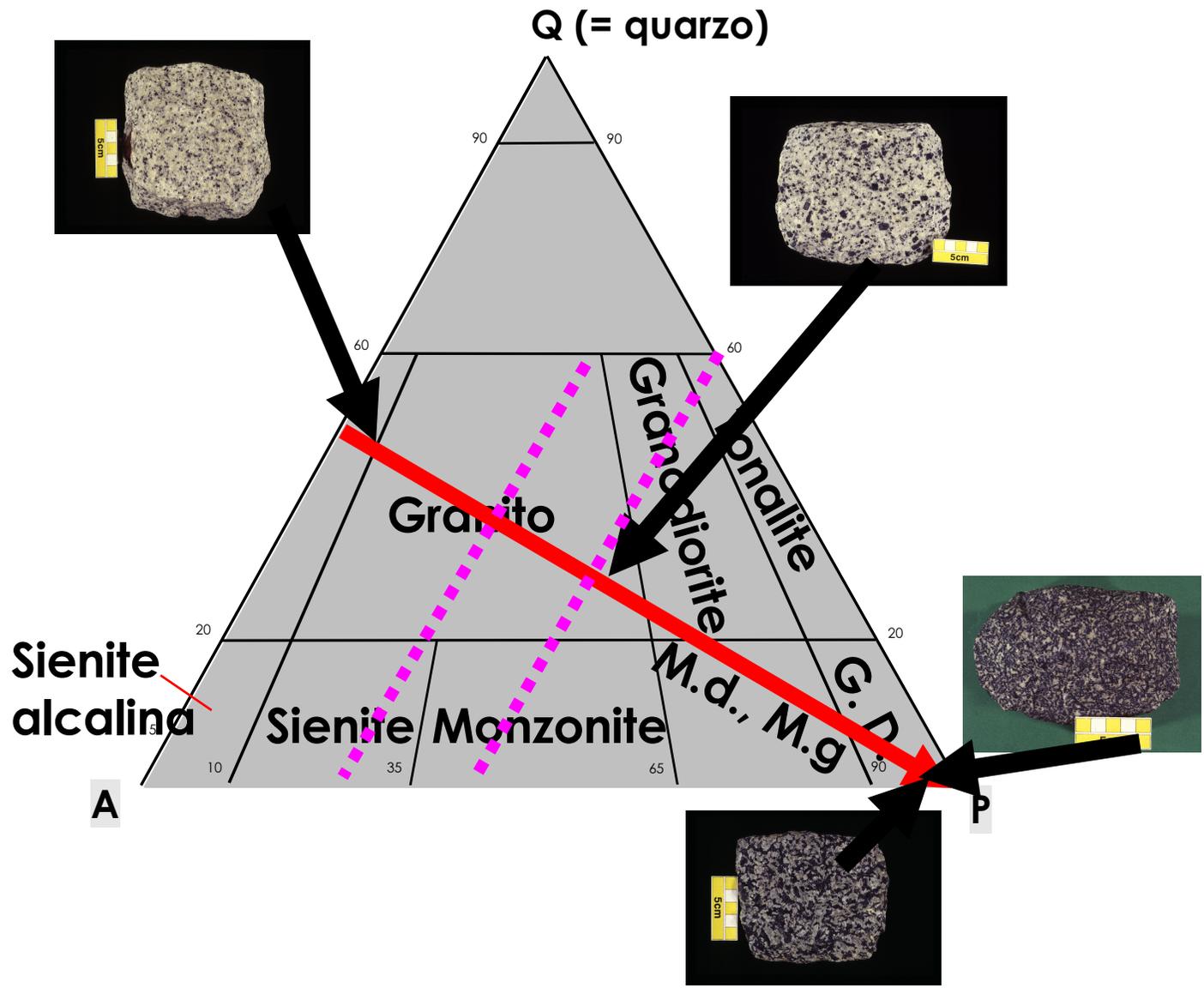


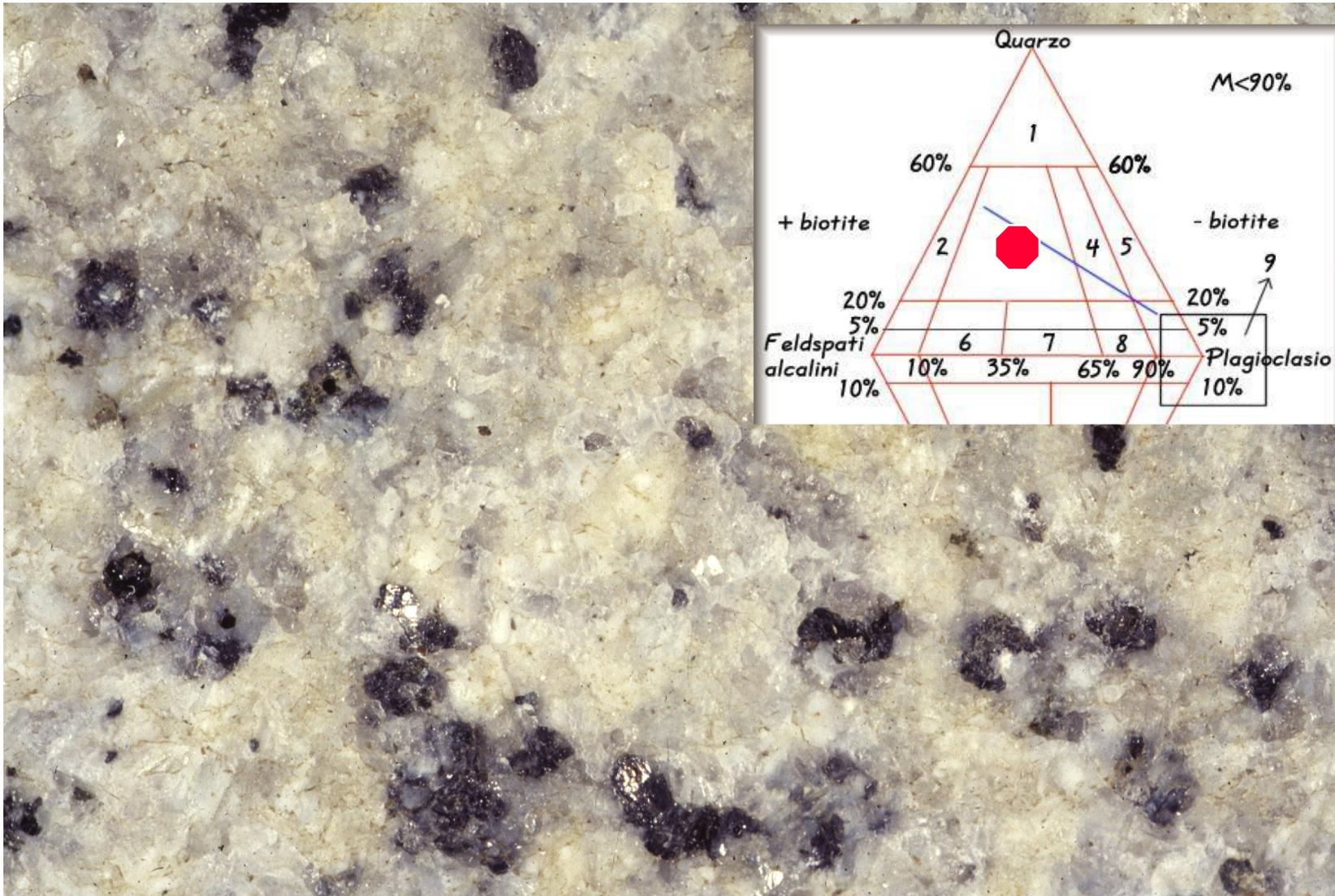


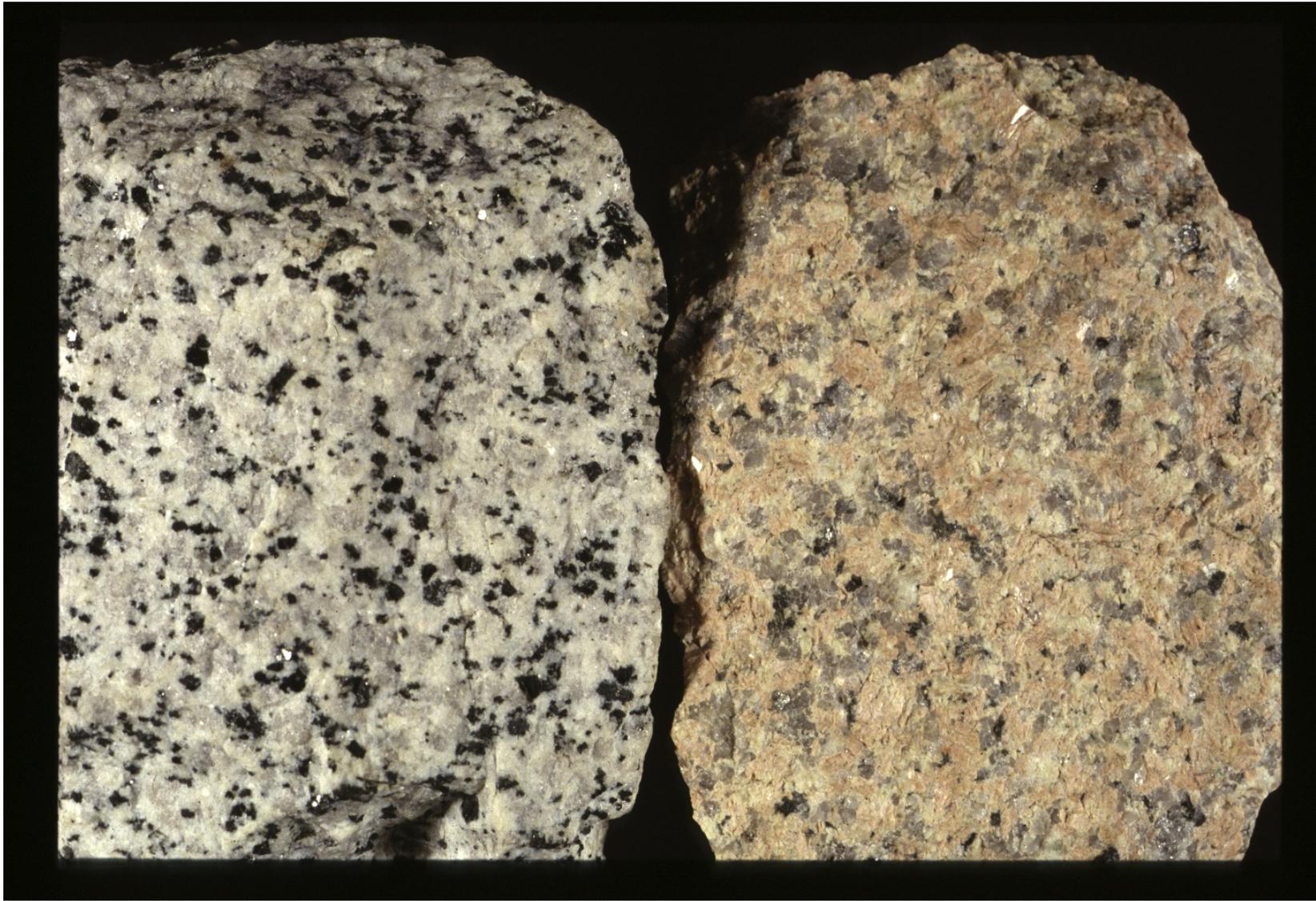
Granito



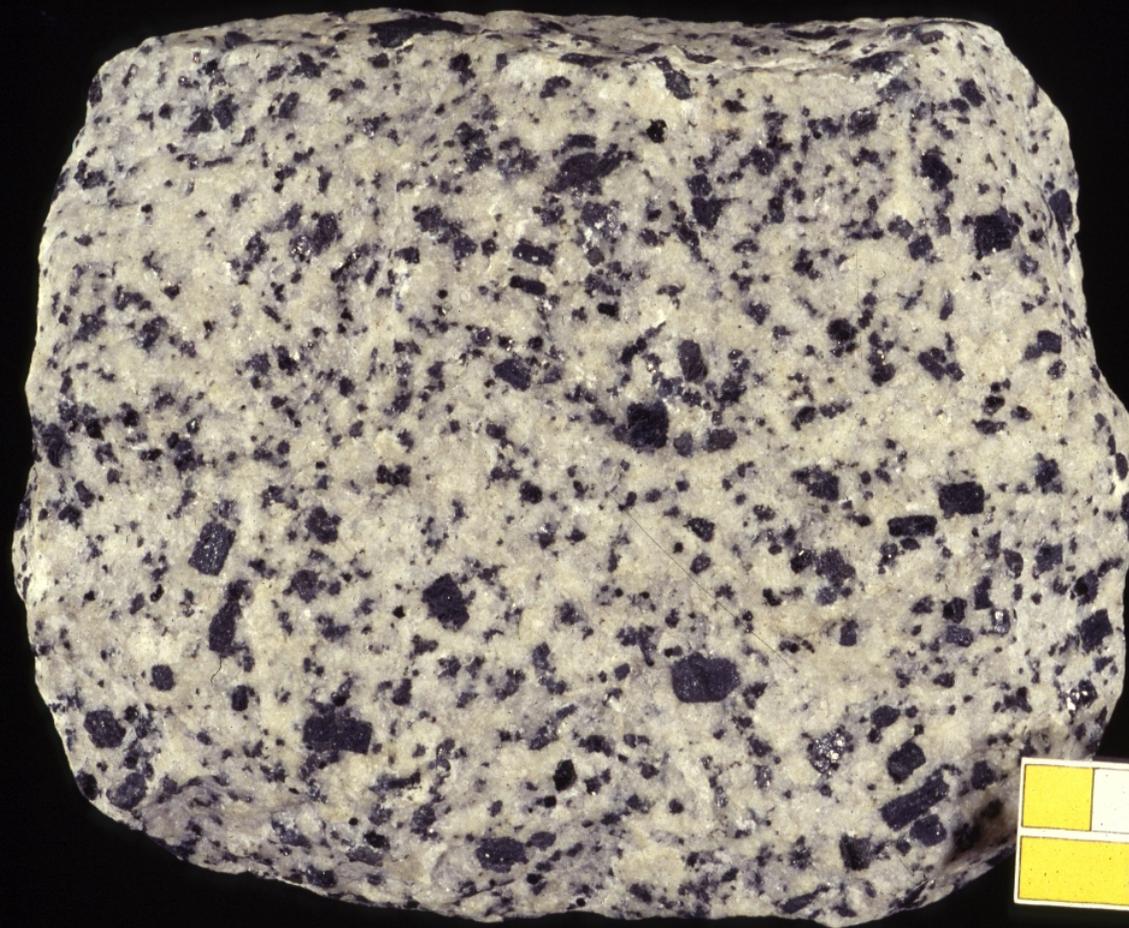




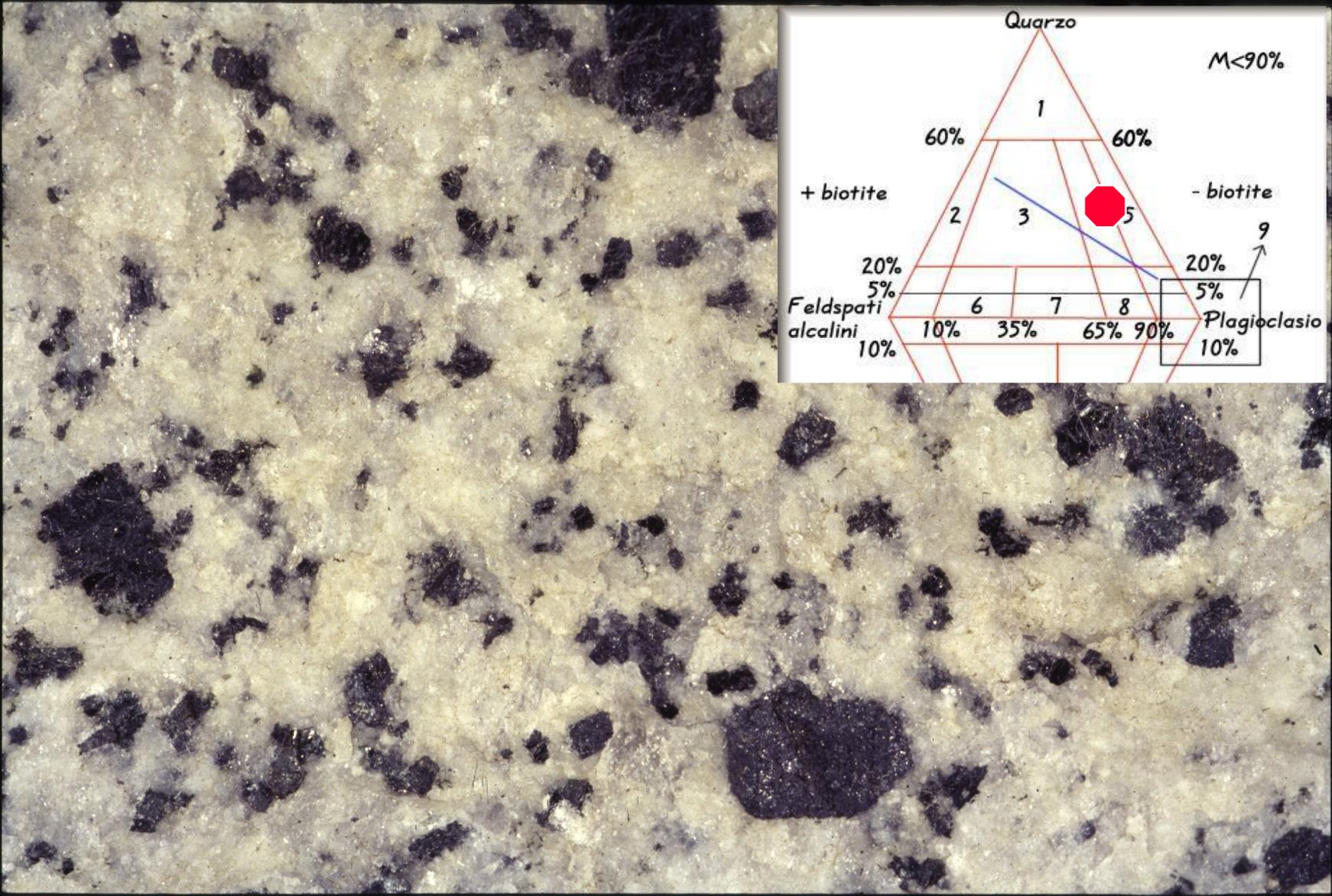




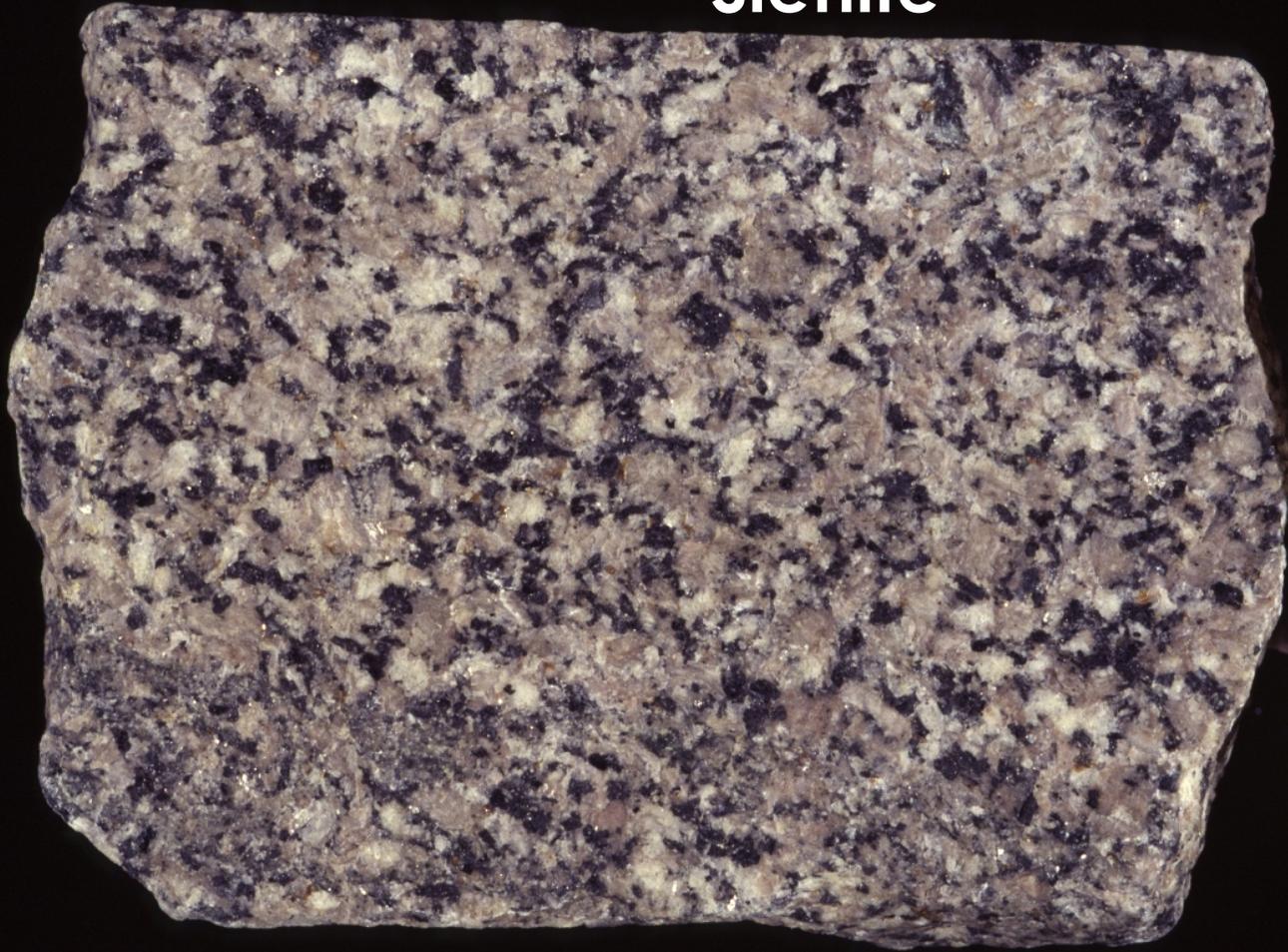
Tonalite

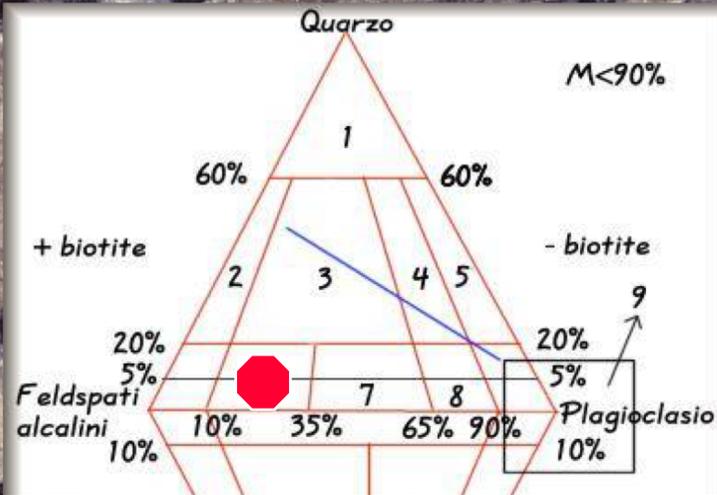
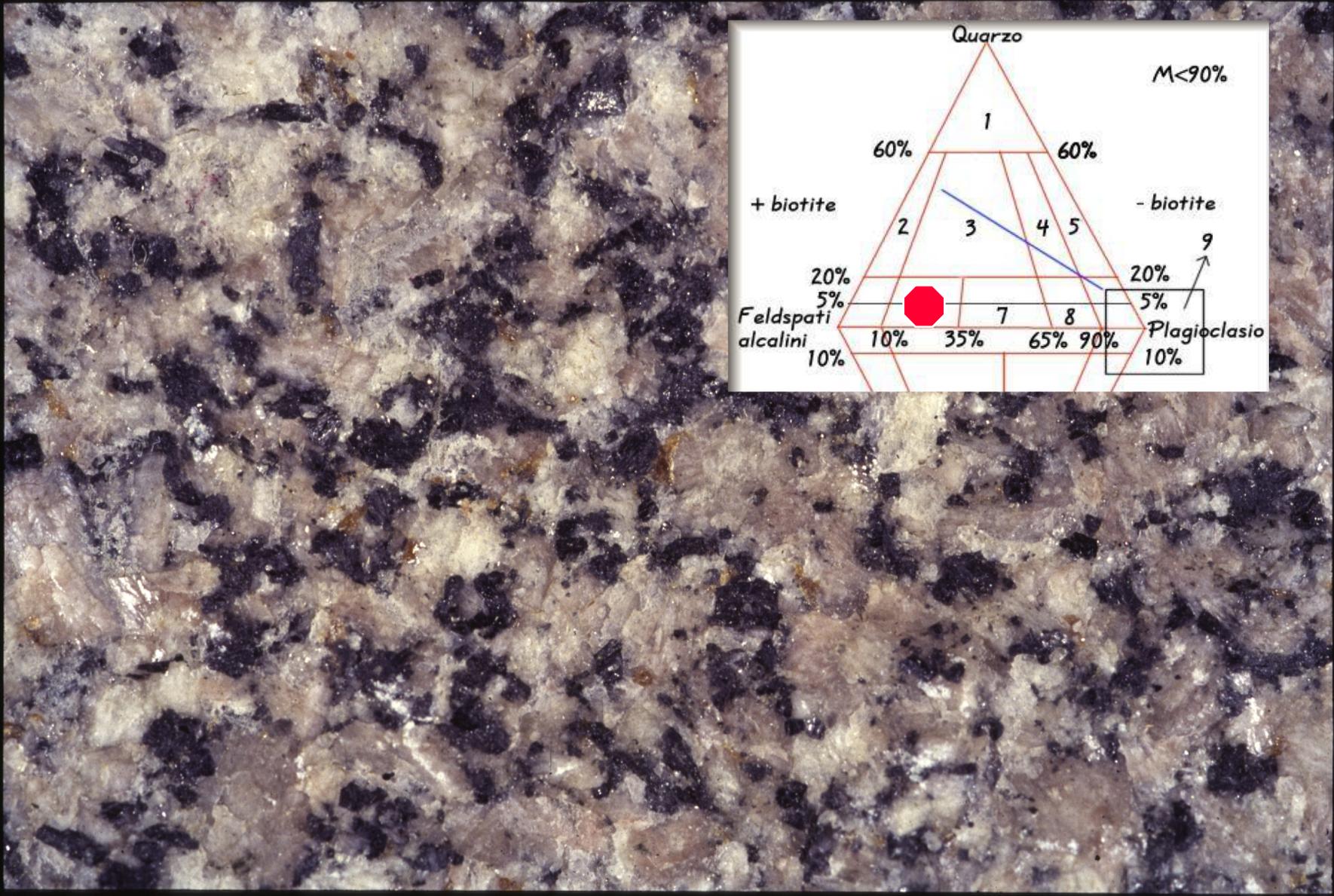




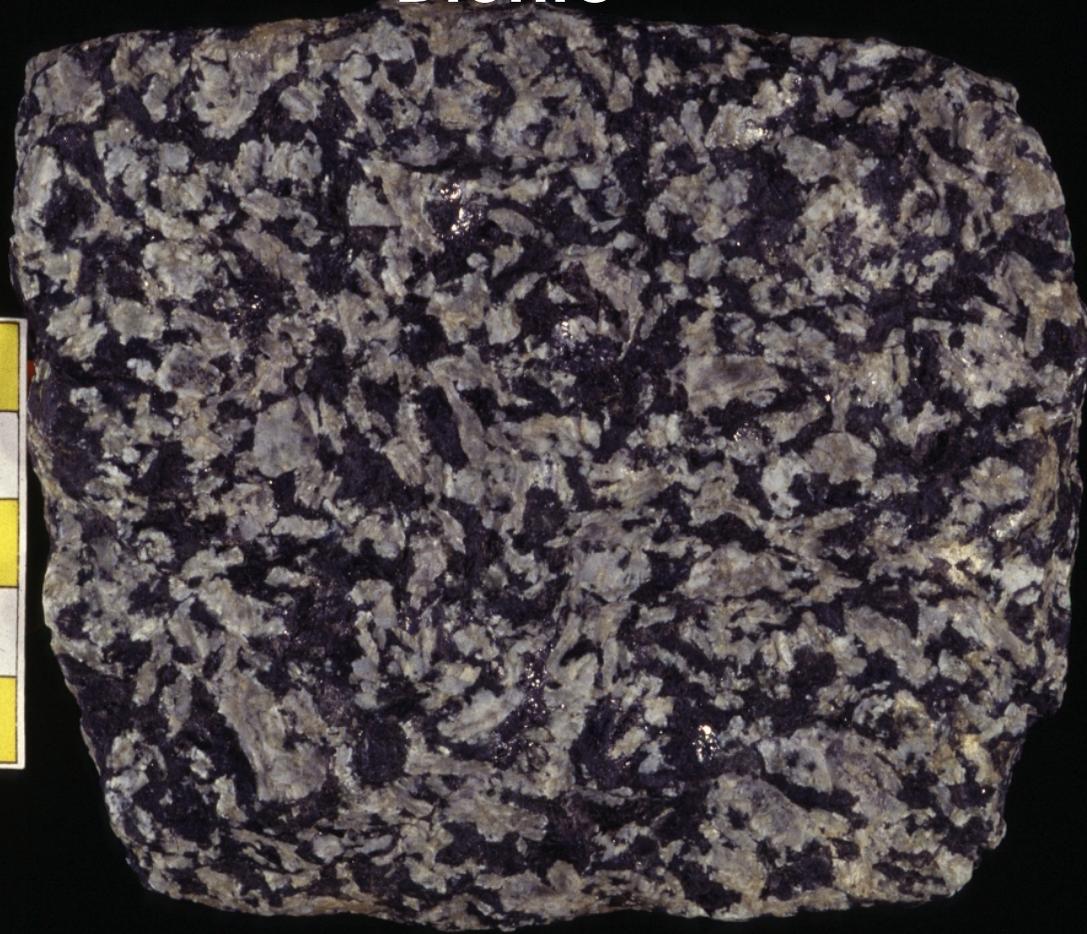


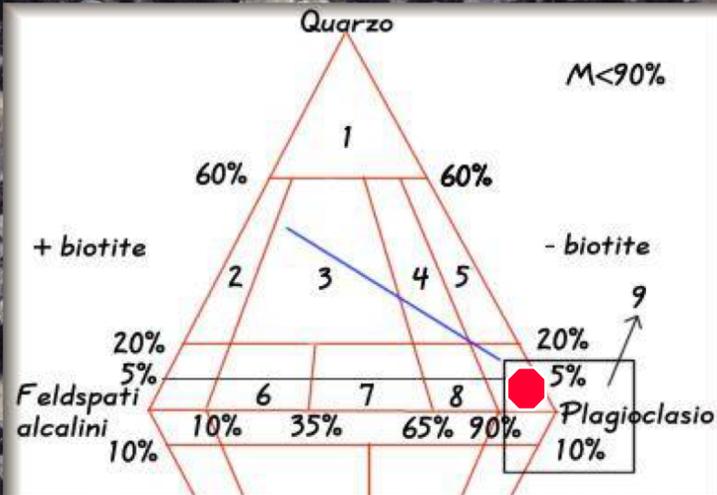
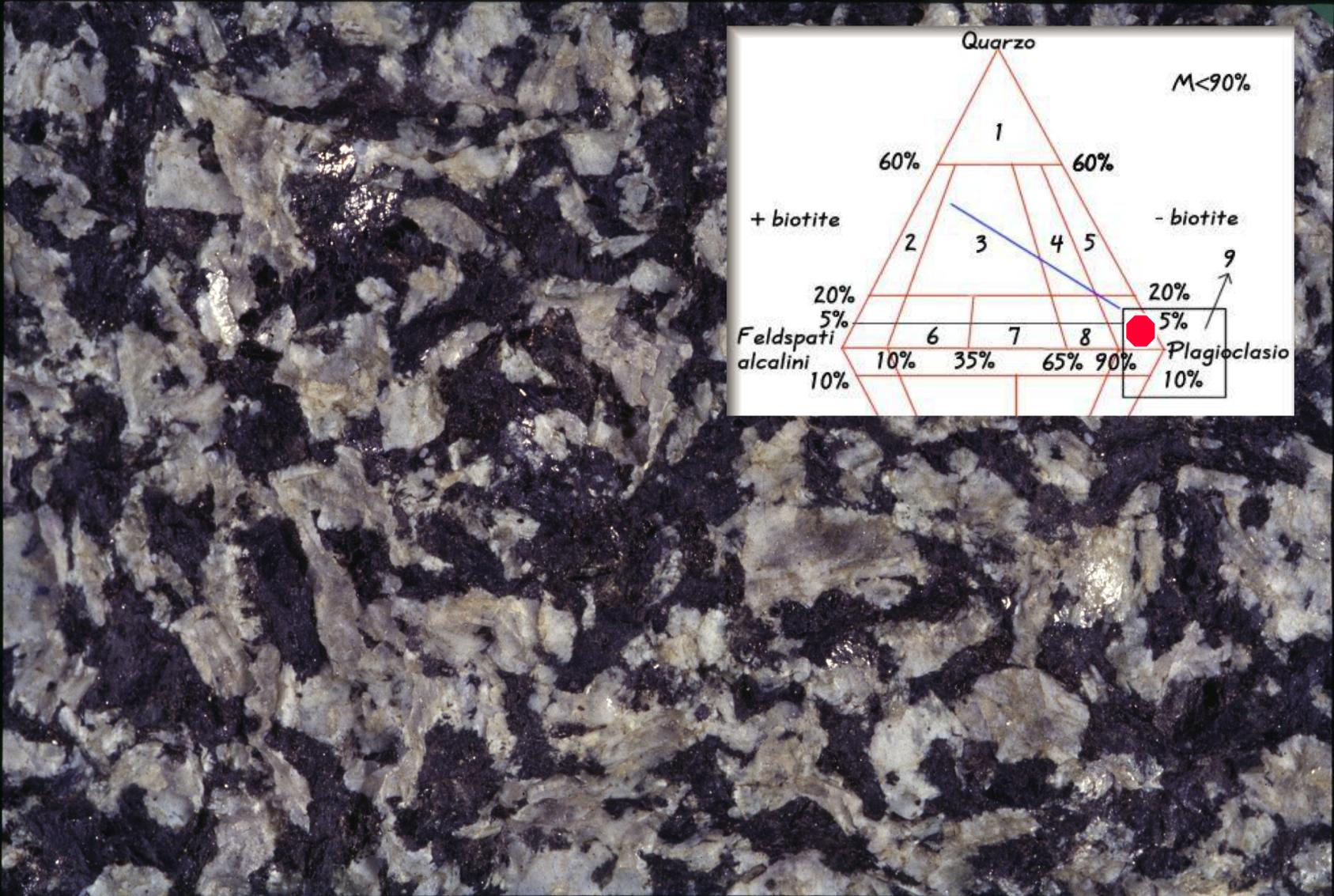
Sienite





Diorite

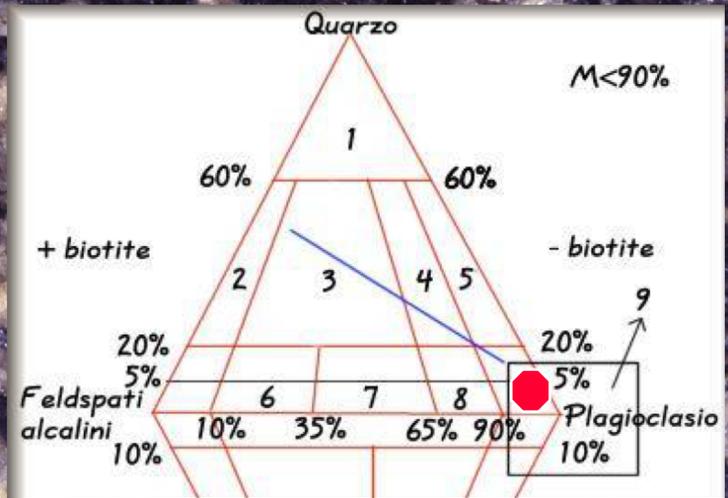
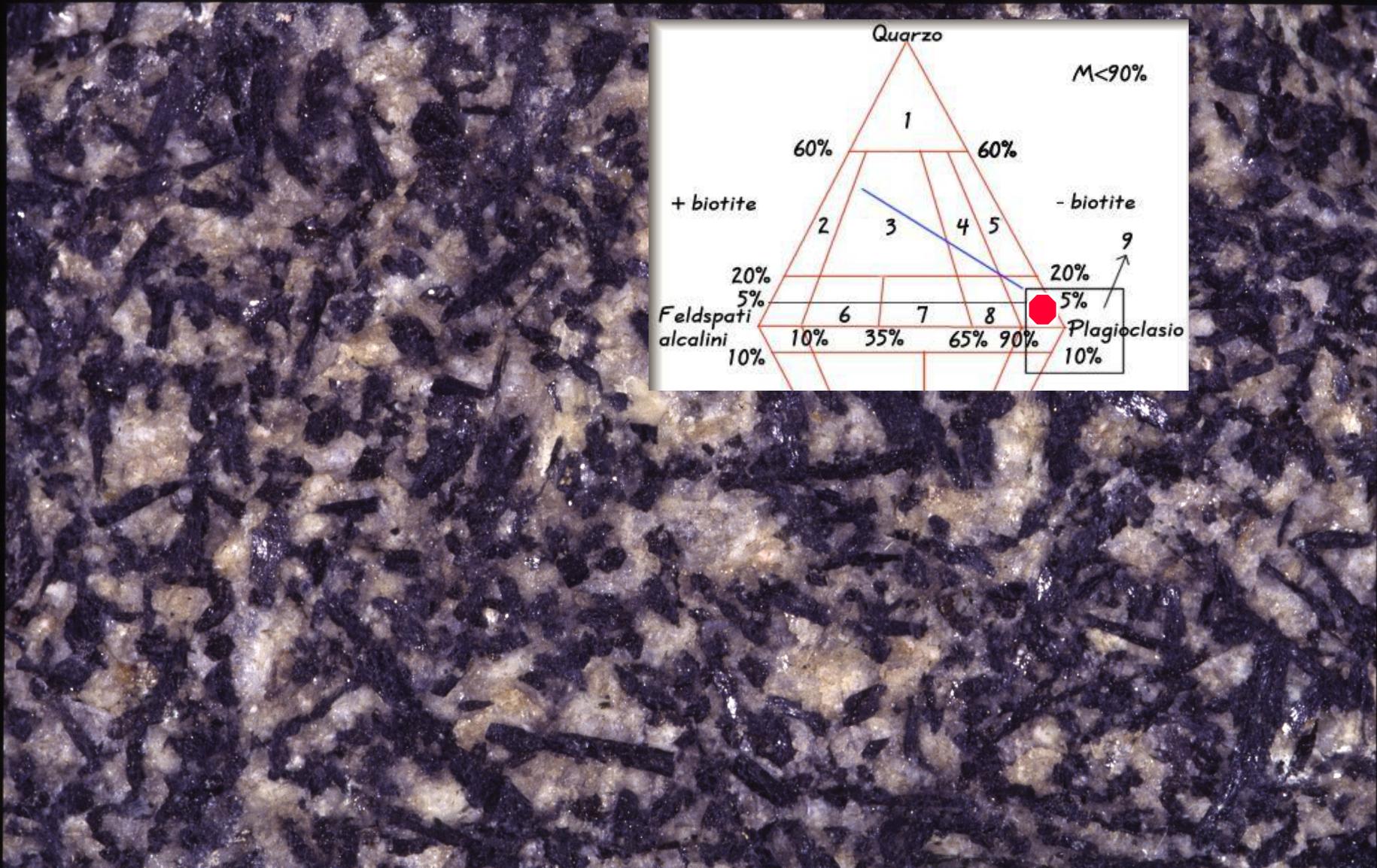


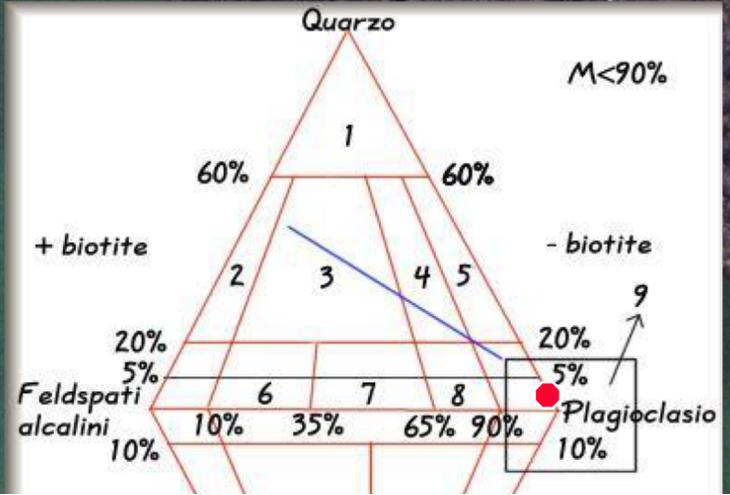
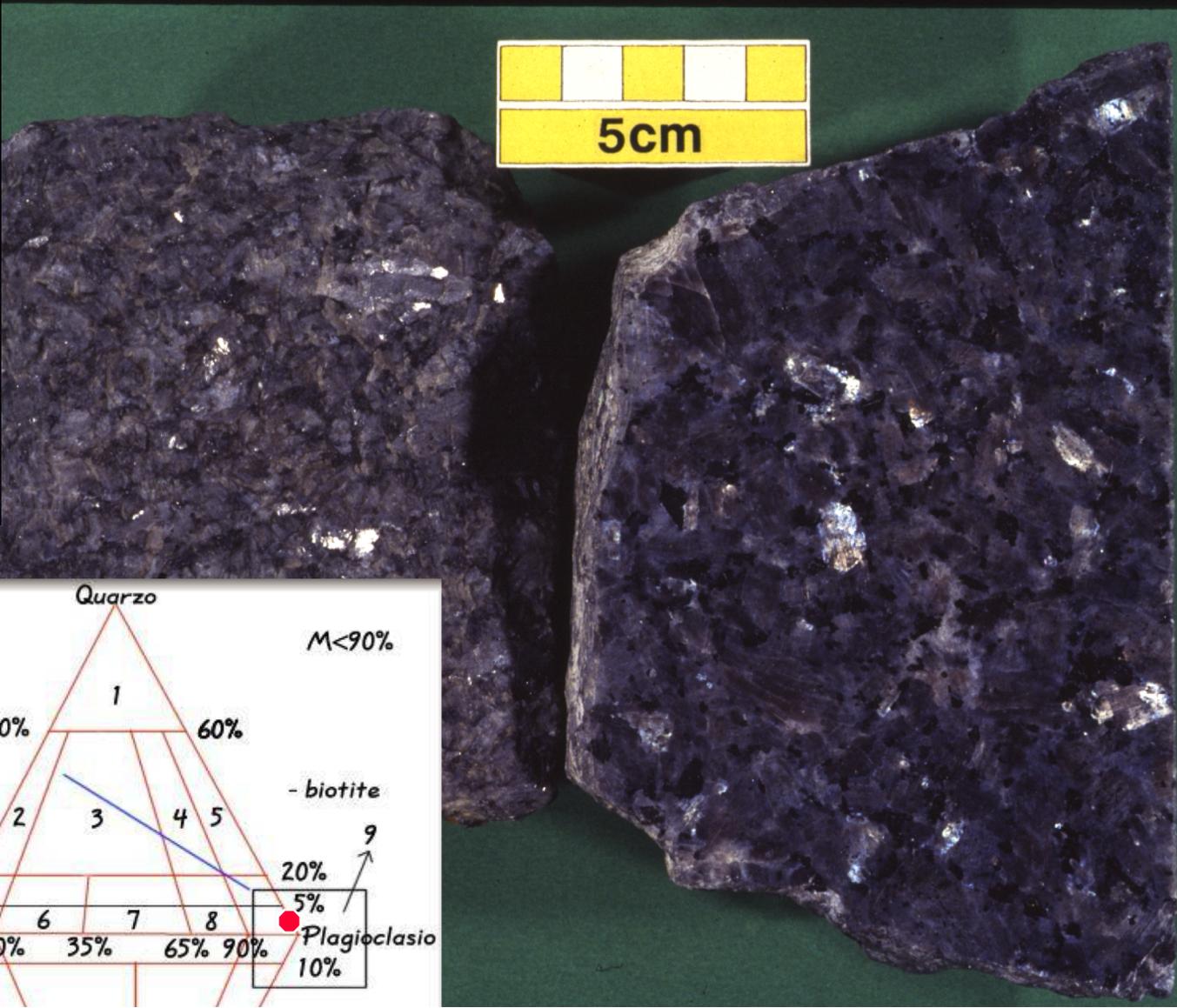
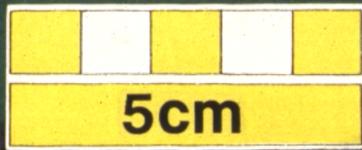




Gabbro

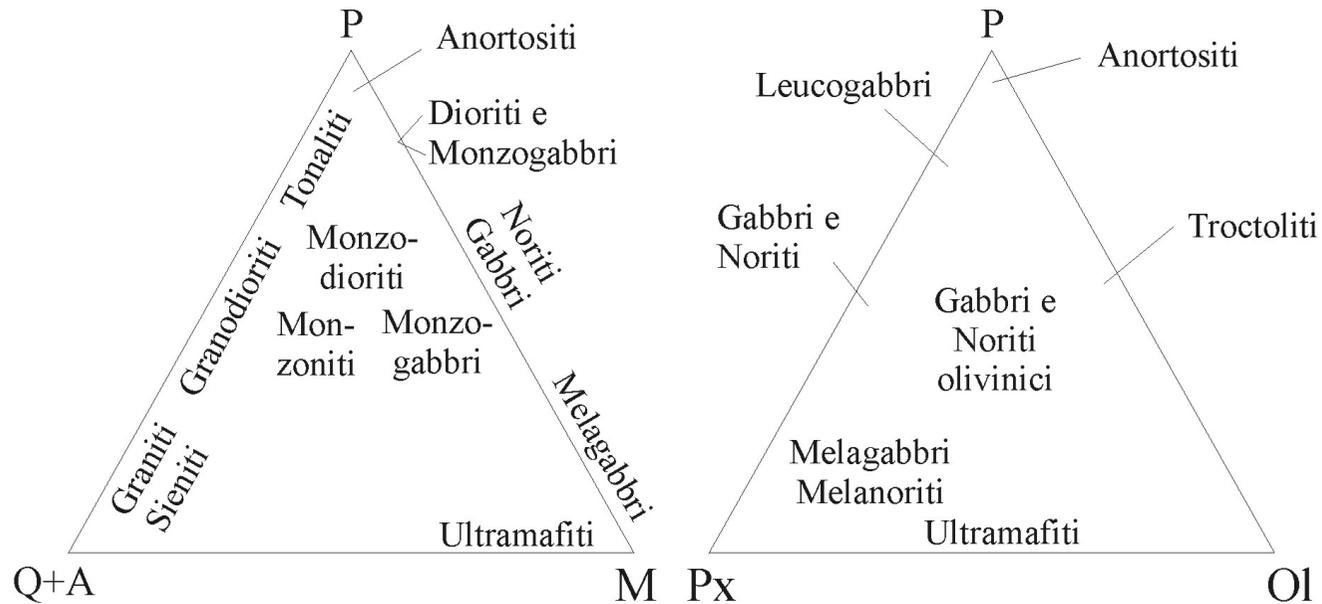






ROCCE BASICHE

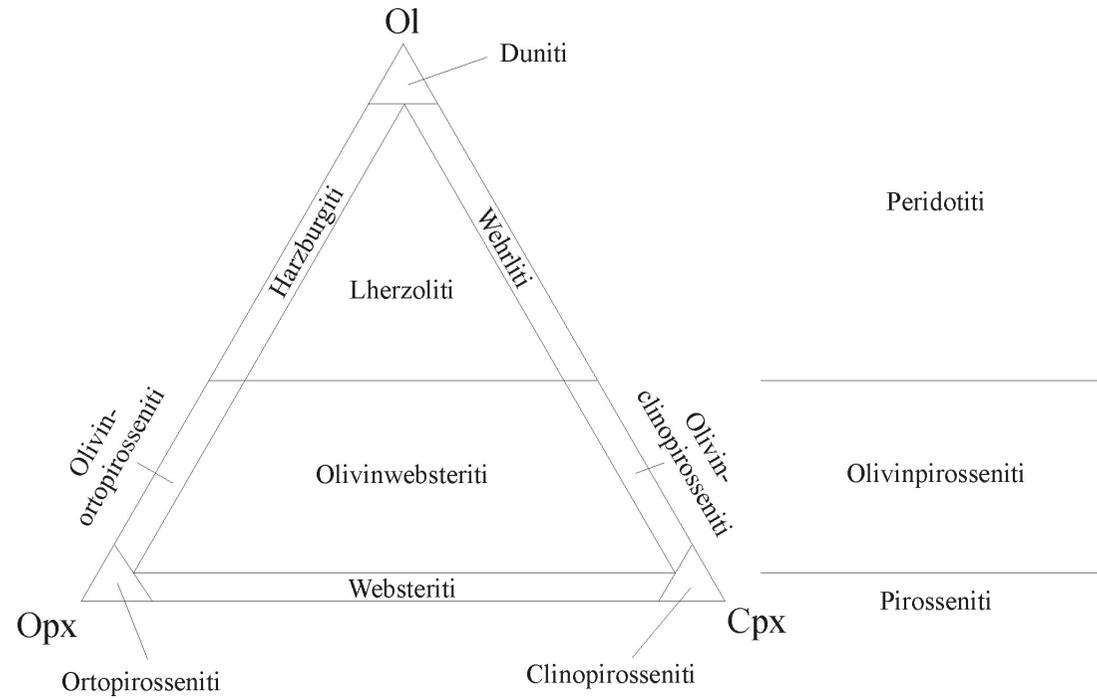
Per evidenziare importanti differenze tra rocce diverse che cadono tutte sul vertice P del diagramma QAPF.



GABBRI	Pl, Cpx; Cpx > Opx ± Ol
NORITI	Opx > Cpx ± Ol
TROCTOLITI	Ol > Px

ROCCE ULTRAMAFICHE

± Hbl, Phl, Grt, Sp, Pl



se $Hbl > Ol + Pl \rightarrow$ Orneblenditi

Peridititi



Rocce Magmatiche EFFUSIVE

Raffreddamento di magmi in condizioni superficiali

Condizioni

- Rapida diminuzione della pressione (per risalita) e degassamento del magma.
- Effusione.
- Rapida diminuzione della temperatura.

Conseguenze

- Il magma può non cristallizzare completamente (vetro)
 - **struttura ipocristallina** (< 60% vetro) o **vetrosa** (> 60% vetro).
- Brusco salto dimensionale tra **fenocristalli** (formati in profondità) e **massa di fondo** (formatasi per raffreddamento veloce → **struttura porfirica**)
- La roccia può non contenere fenocristalli → **struttura afirica**
- La roccia può non contenere cristalli riconoscibili → **struttura afanitica**
- Possono esserci orientazioni preferenziali dei minerali
 - indicatori di movimenti di flusso (es. **struttura trachitica**)

→ **CLASSIFICAZIONE MACROSCOPICA DIFFICILE**

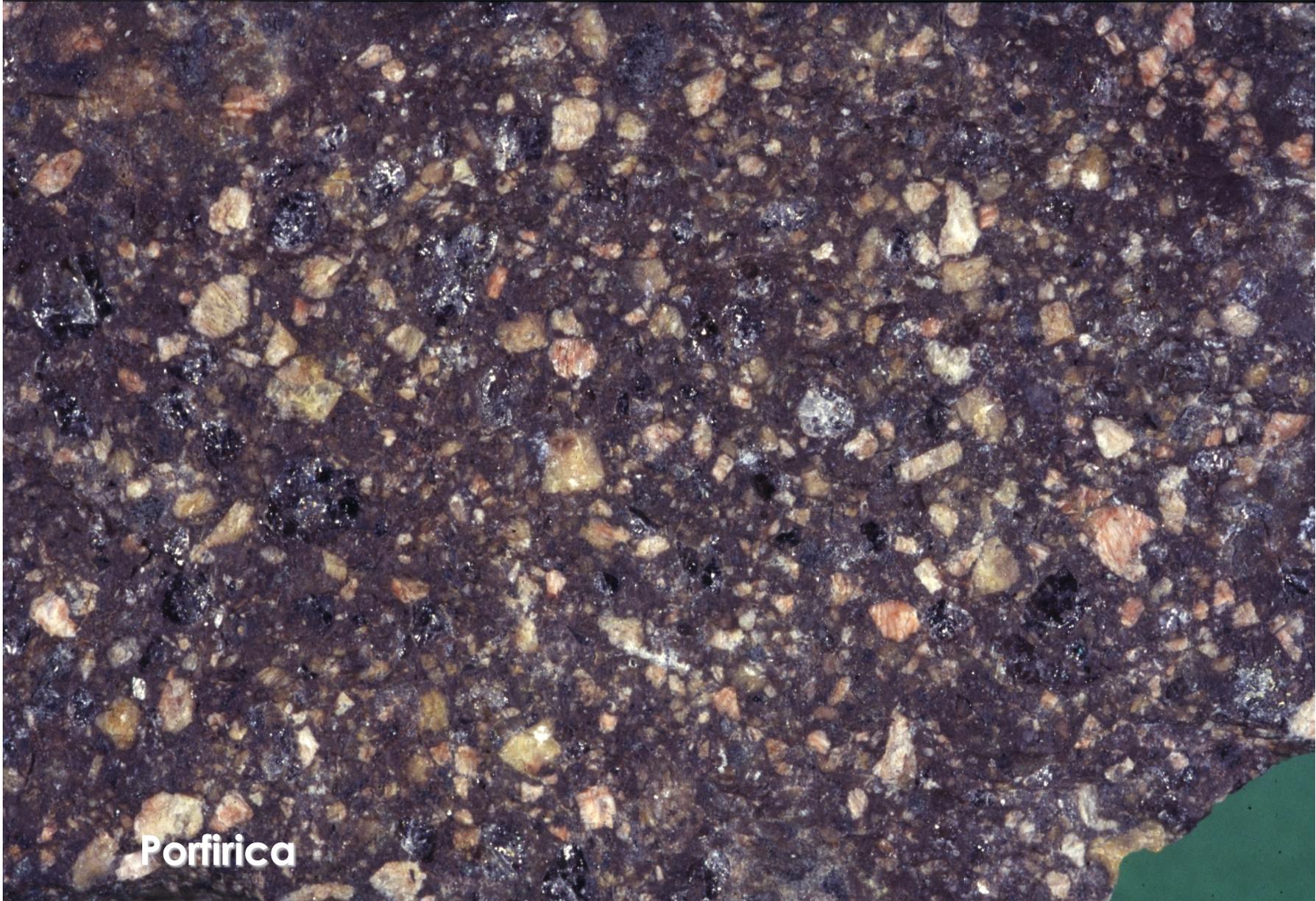
Strutture comuni delle rocce effusive

Porfirica: presenza di fenocristalli in massa di fondo

Afirica: assenza di fenocristalli

Vetrosa: vetro molto abbondante → frattura concoide

Fluidale: massa totalmente vetrosa con direzioni di movimento





Africa





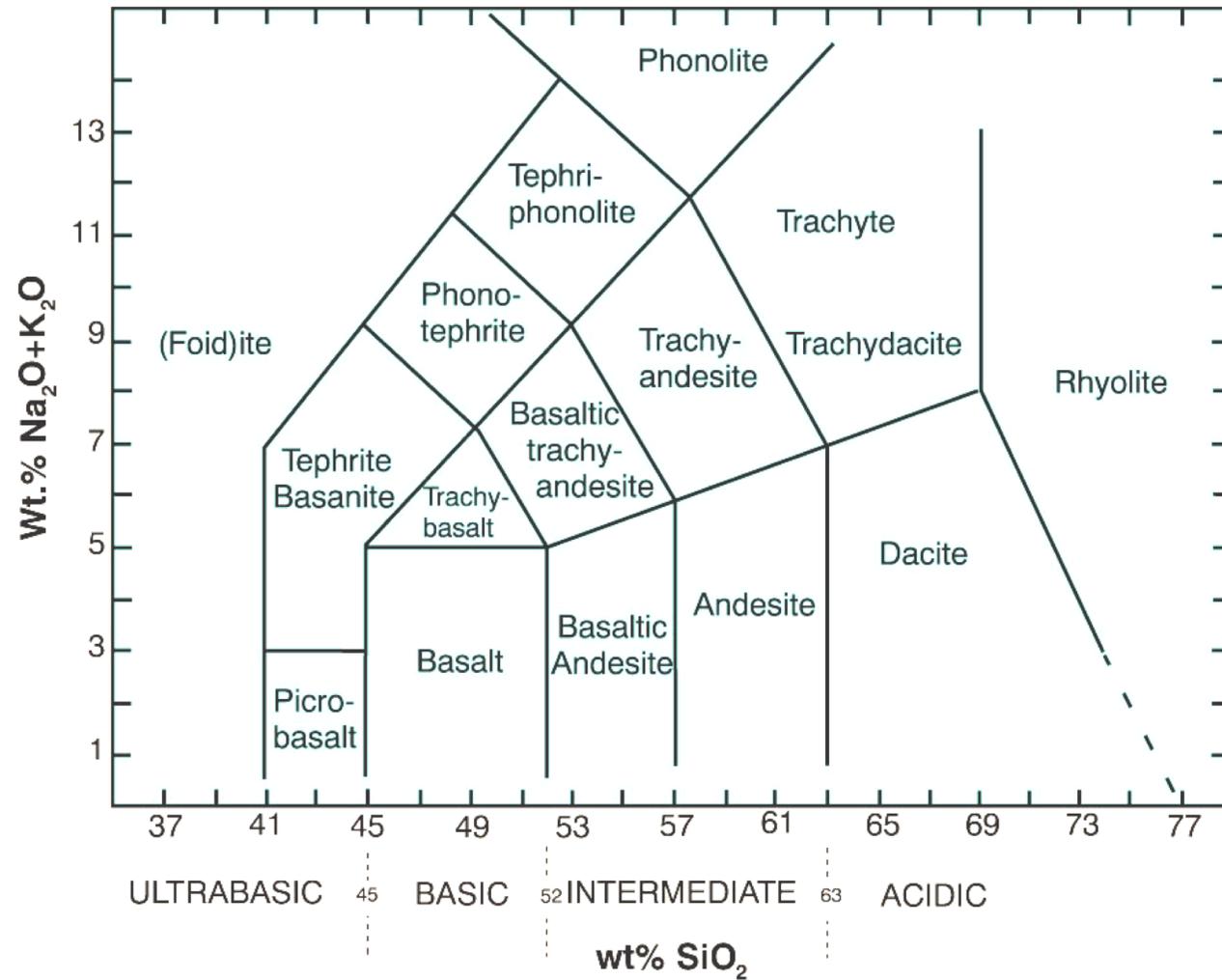
Vetrosa



Fluidale

Classificazione ROCCE EFFUSIVE

Si basa sulla
composizione
chimica
Diagramma
TAS
Alcali vs. silice

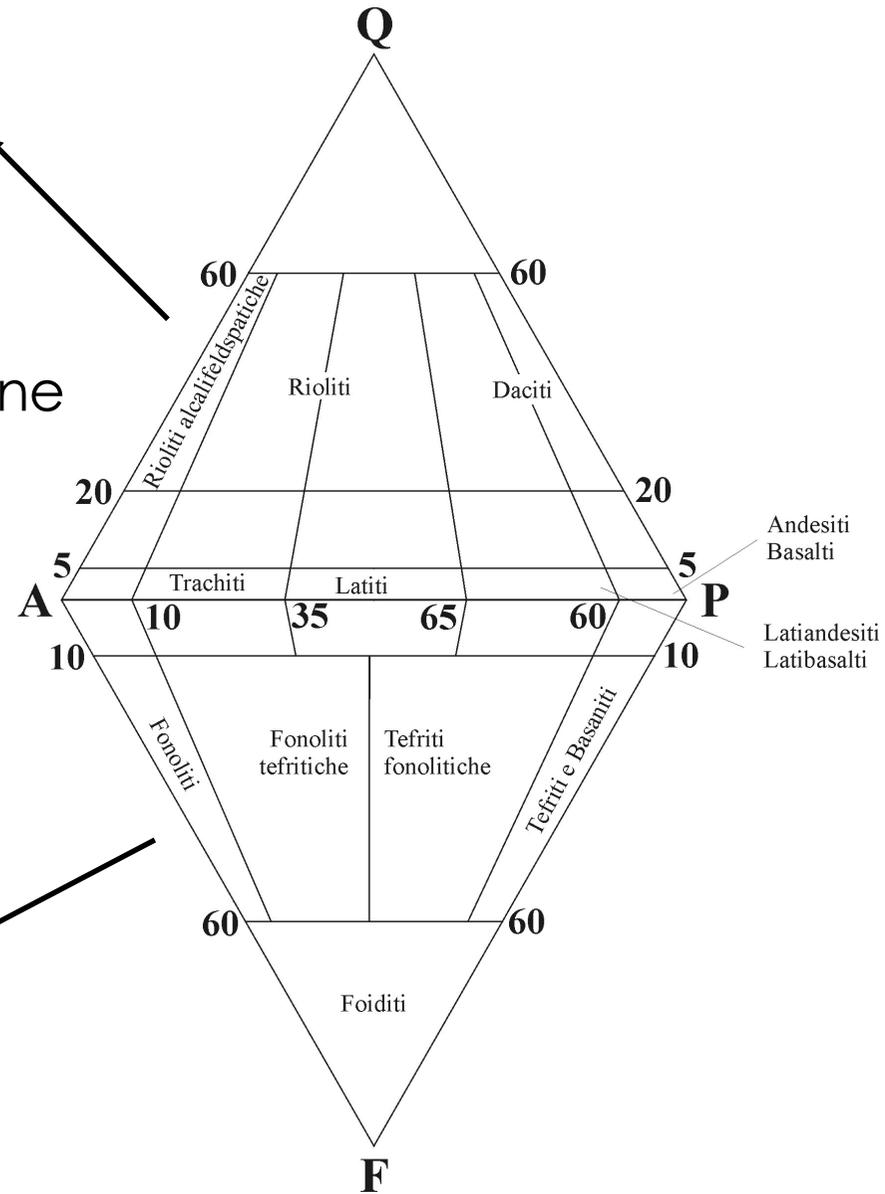


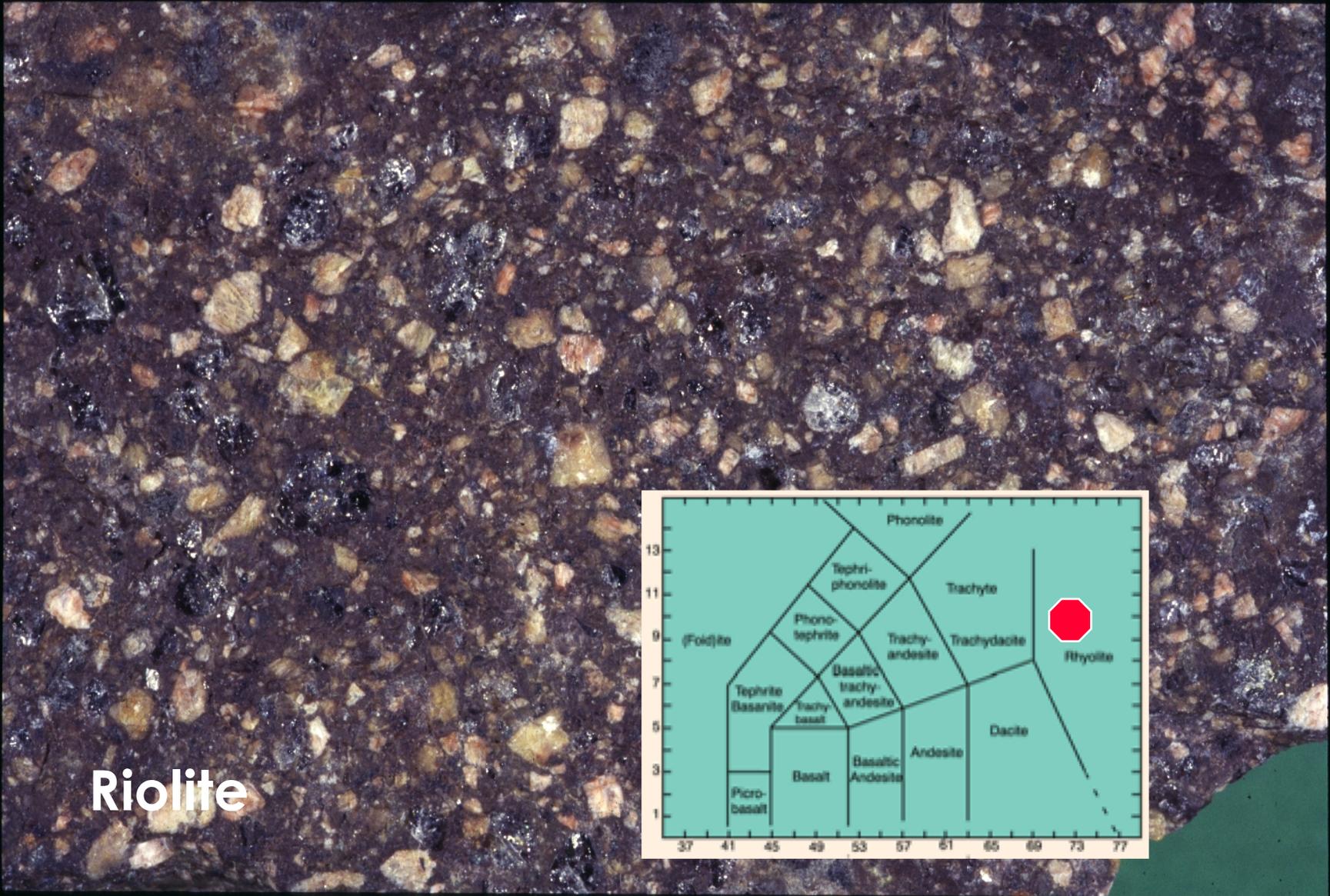
Rocce soprasature

Si possono classificare anche in base alla composizione mineralogica

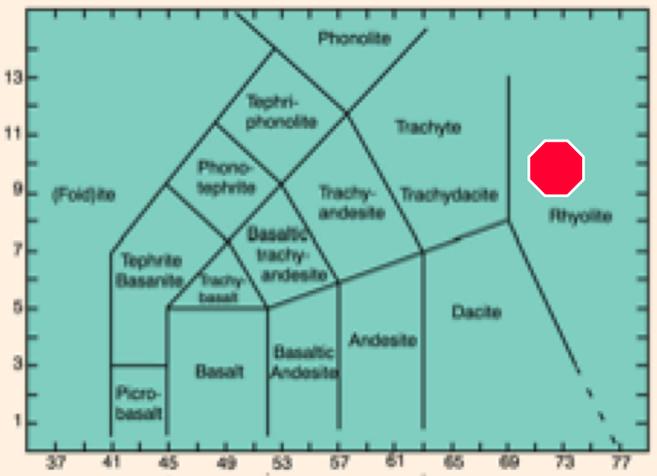
→ diagramma QAPF di Streckeisen

Rocce sottosature

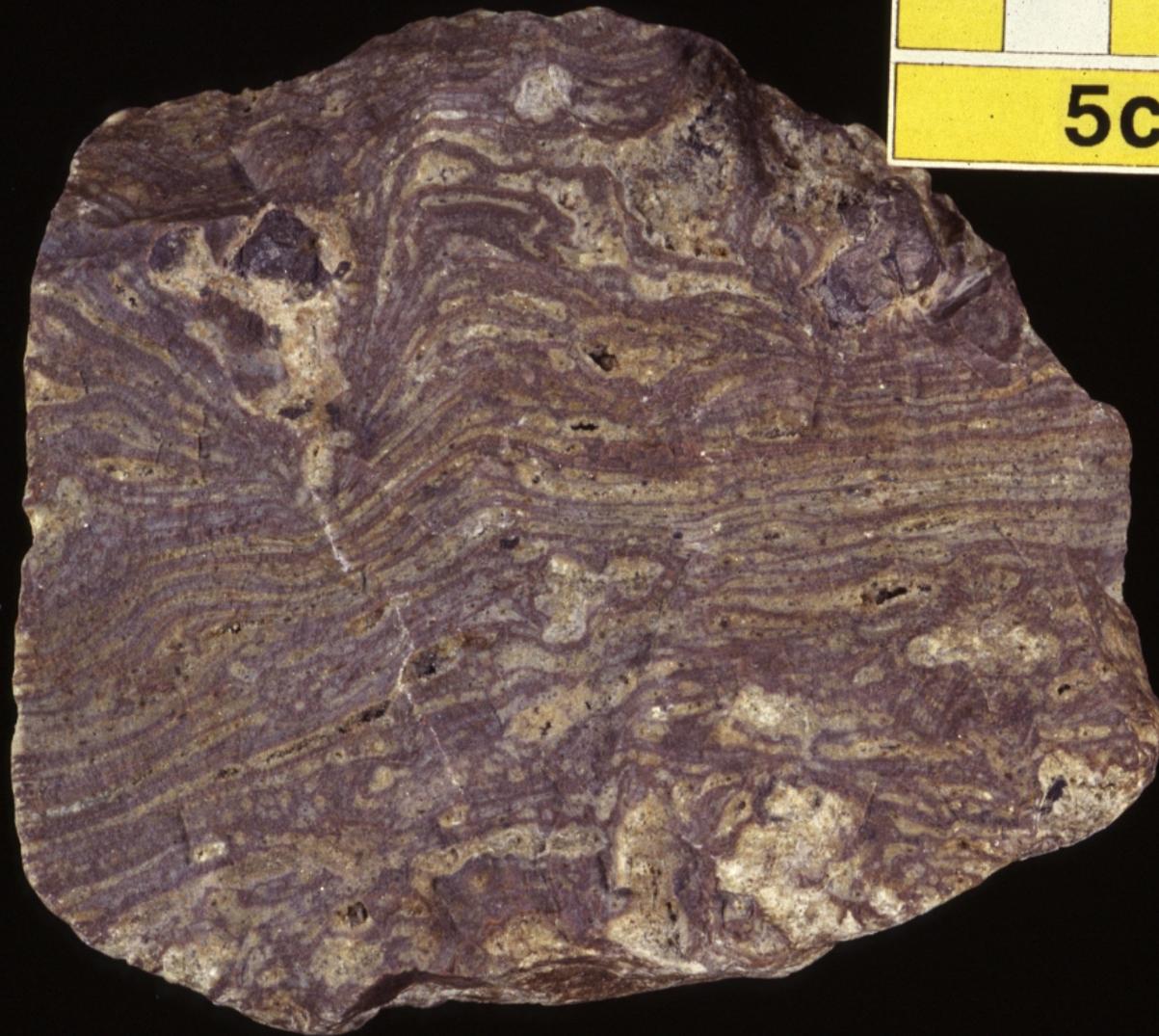




Riolite



Riolite a struttura fluidale





Ossidiana





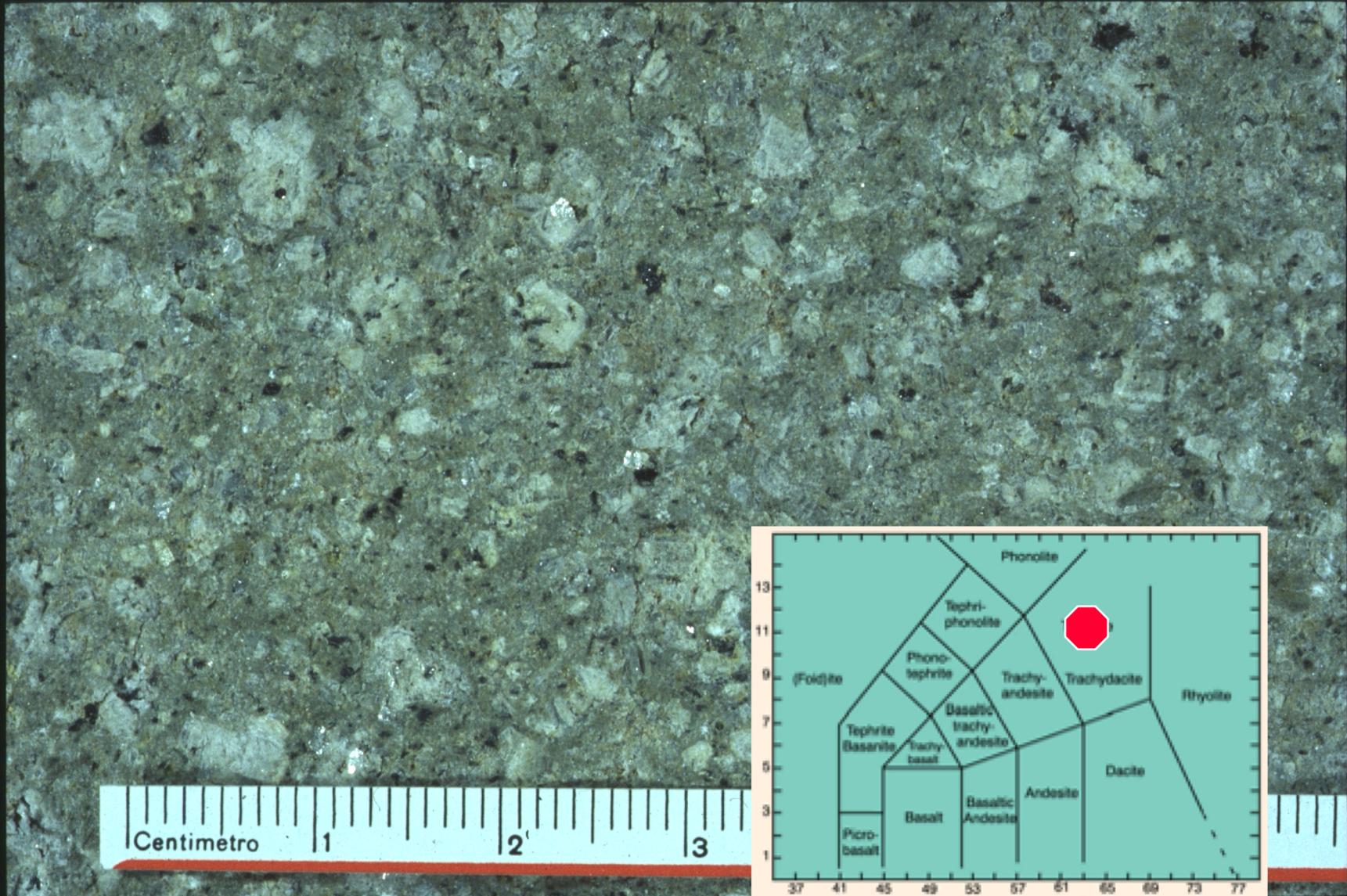
Ossidiana

Pomice





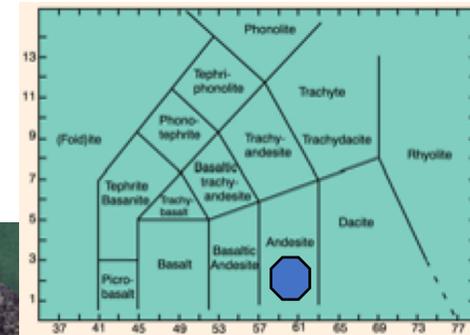
Trachite



Trachite



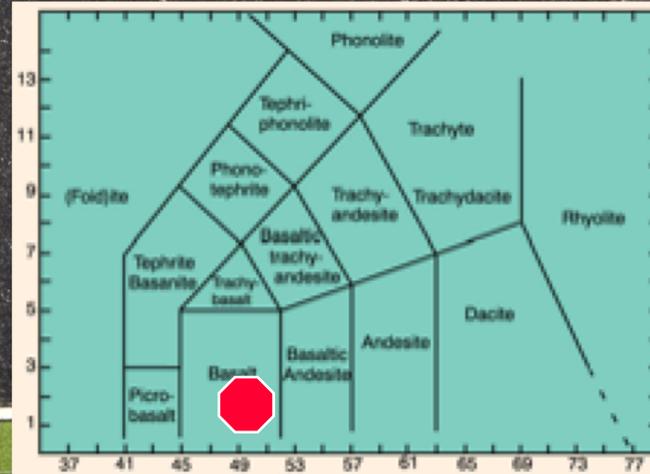
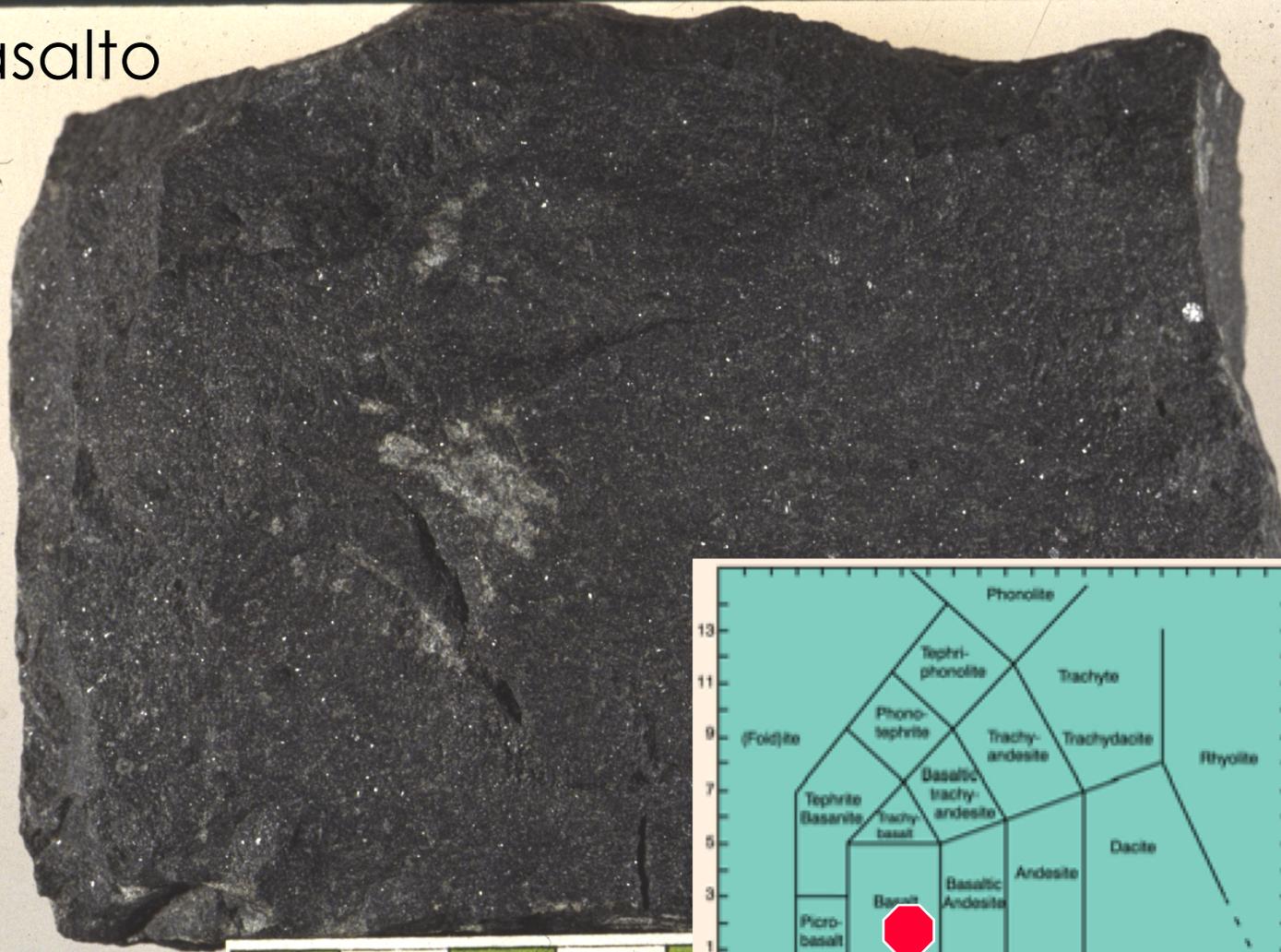
Andesite



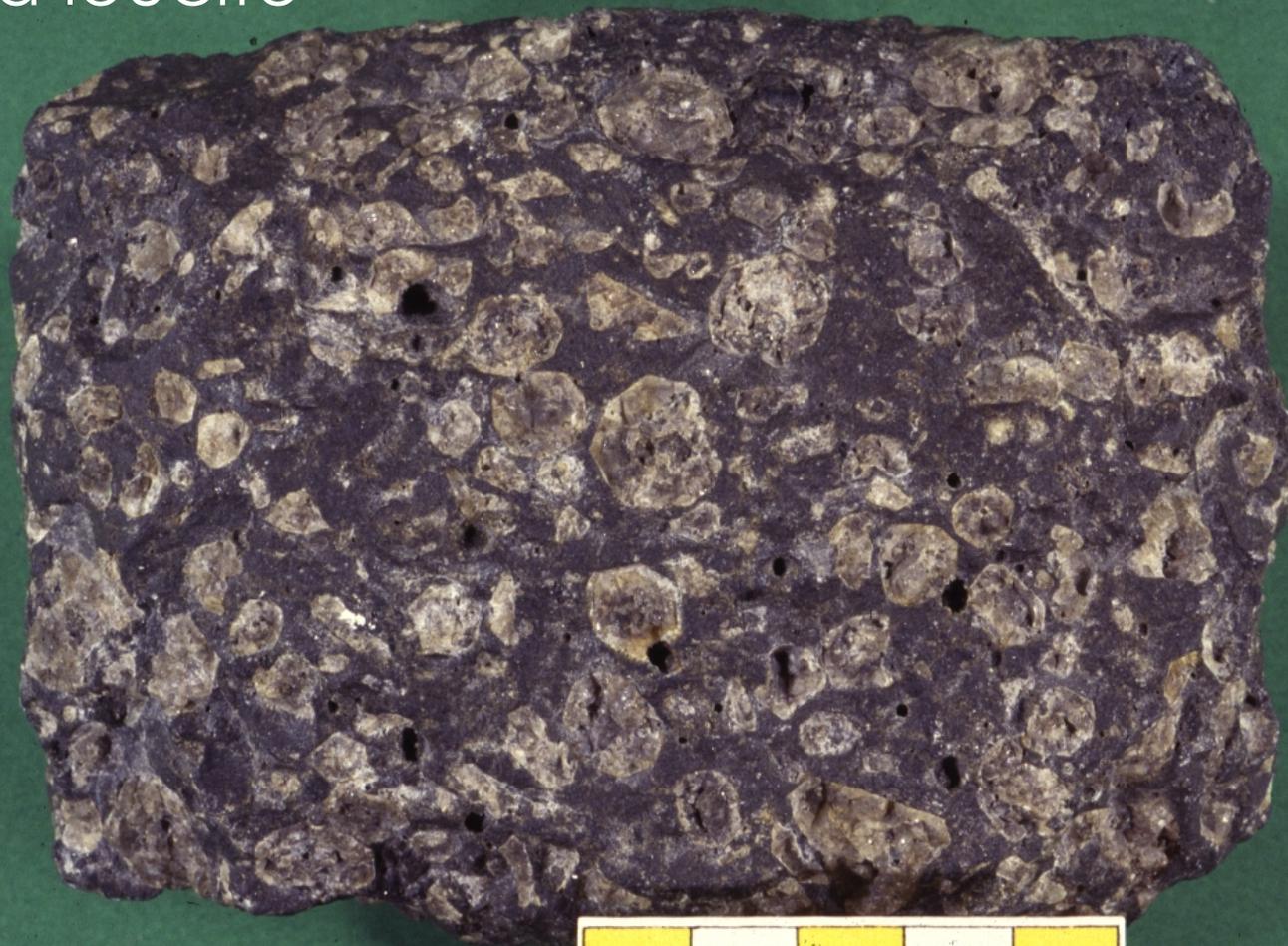
Andesite



Basalto

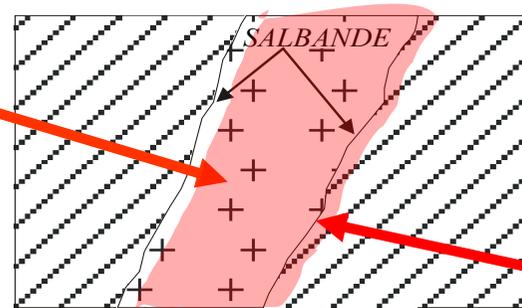


Tefrite a leucite



Corpi **FILONIANI**

salbanda



Si formano per intrusione e successiva cristallizzazione (o raffreddamento) di un magma entro "fratture".

Sia intrusivi che subvulcanici

Unica prova certa per potere definire una roccia filoniana è la presenza delle **SALBANDE**

Filoni acidi: colore chiaro

pegmatiti: grana molto vistosa

apliti: grana minutissima, colore bianco, bassissimo contenuto di minerali femici

Filoni basici: colore scuro



Centimetro 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

