

Mineralogia e Petrografia per i Beni Culturali

Mineralogia per i Beni Culturali

Michele Secco



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

dbc
DIPARTIMENTO
DEI BENI CULTURALI
ARCHEOLOGIA, STORIA
DELL'ARTE, DEL CINEMA
E DELLA MUSICA



DIPARTIMENTO
DI GEOSCIENZE

CIRCe

Centro Interdipartimentale di Ricerca
per lo Studio dei Materiali Cementizi
e dei Leganti Idraulici

CIBA CENTRO PER I
BENI CULTURALI

DIAGNOSTICA . RILIEVO . TECNOLOGIE

Tectosilicati

Radicale (**SiO₂**)

Grado di polimerizzazione massimo.

Si:O = 1:2 (impalcatura 3D di tetraedri di Si)

Questo gruppo costituisce oltre il 60 % dei minerali della crosta terrestre.

I tectosilicati, ad eccezione del quarzo, sono alluminosilicati.

Principali tectosilicati:

- **quarzo**
- **feldspati**
- **zeoliti**

GRUPPO DELLA SILICE

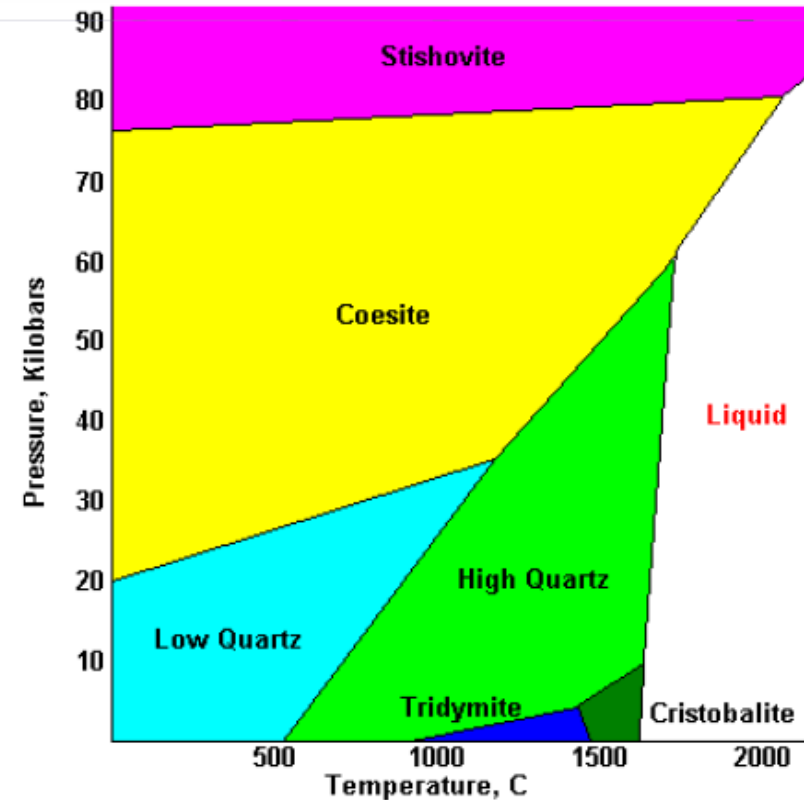
Al gruppo della silice appartengono i tectosilicati dove **non c'è sostituzione ionica**; un reticolo tridimensionale di tetraedri SiO_2 , **infatti è elettricamente neutro**, e tutti gli altri tectosilicati si possono avere a partire dalla sostituzione Si - Al. Il campo di stabilità dei polimorfi della silice dipende principalmente dalle condizioni di pressione e temperatura: le forme di alta temperatura hanno reticoli più espansi e, quindi, minor densità, quelle di alta pressione, al contrario, reticoli più compatti e maggior densità.

Oltre ai polimorfi cristallini esistono due sostanze amorfe: lechatelierite, una silice vetrosa di composizione variabile, e opale, $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, con una struttura di sfere di silice, localmente ordinate, e un contenuto di H_2O molto variabile.

Tectosilicati

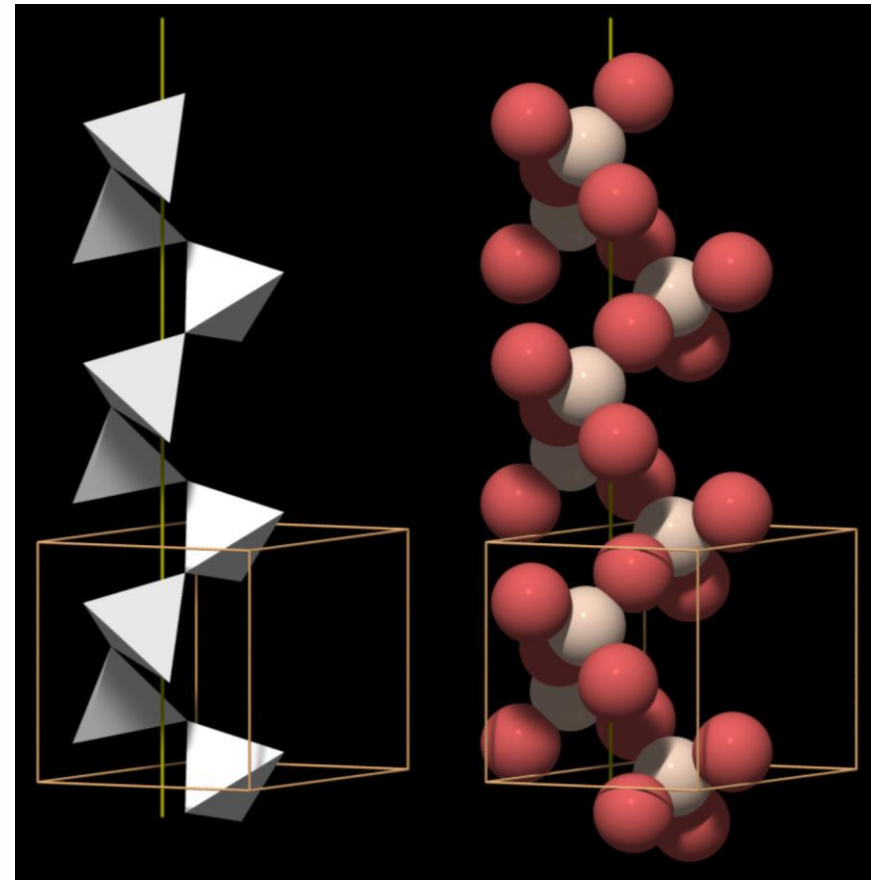
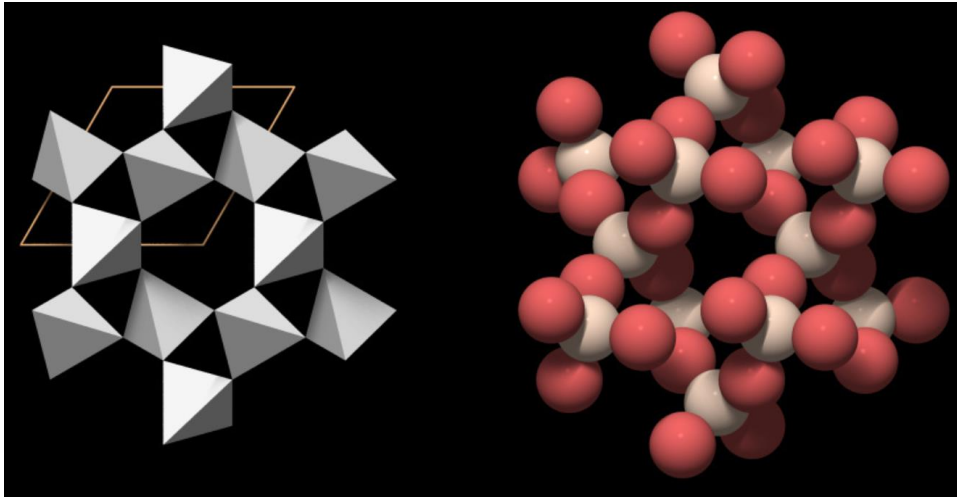
GRUPPO DELLA SILICE

Polimorfo	Sistema cristallino	Densità (g/cm ³)
Quarzo α	Trigonale	2.65
Quarzo β	Esagonale	2.53
Tridimite	Esagonale	2.28
Cristobalite	Cubico	2.33
Coesite	Monoclino	2.93
Stishovite	Tetragonale	4.30



STRUTTURA DEL QUARZO

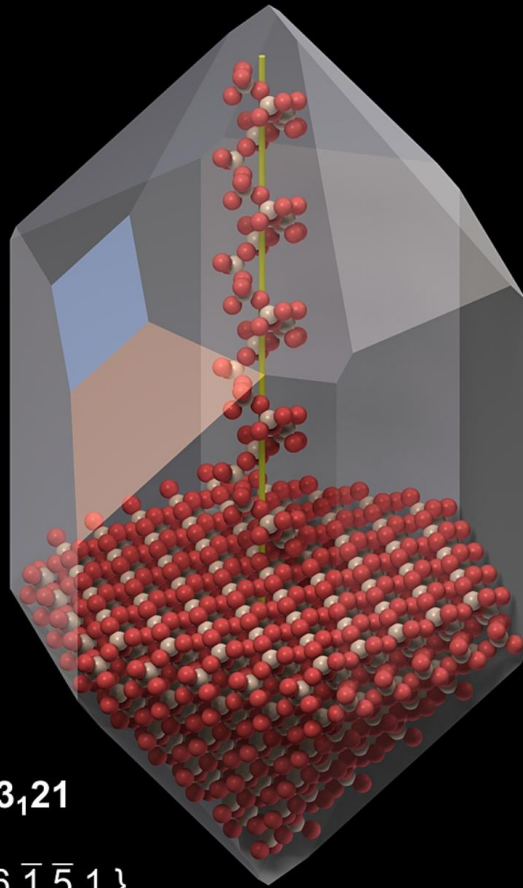
- Catene elicoidali di tetraedri parallele all'asse c.
- Sei catene connesse a formare un anello che circonda un canale centrale parallelo all'asse c (canale c).



Tectosilicati

STRUTTURA DEL QUARZO

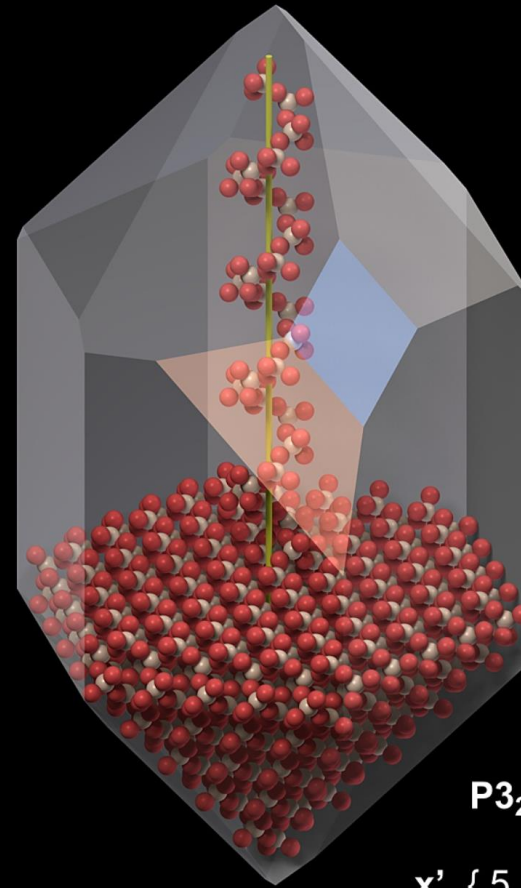
Left-handed Quartz



$P3_121$

$$\begin{aligned} 'x' & \{ 6 \bar{1} \bar{5} 1 \} \\ 's' & \{ 2 \bar{1} \bar{1} 1 \} \end{aligned}$$

Right-handed Quartz

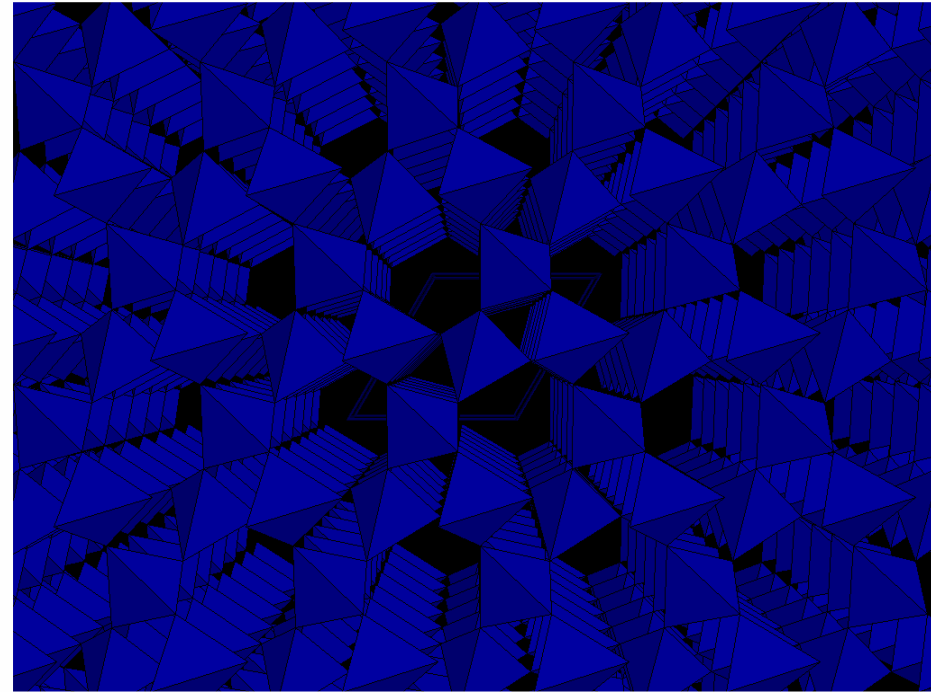
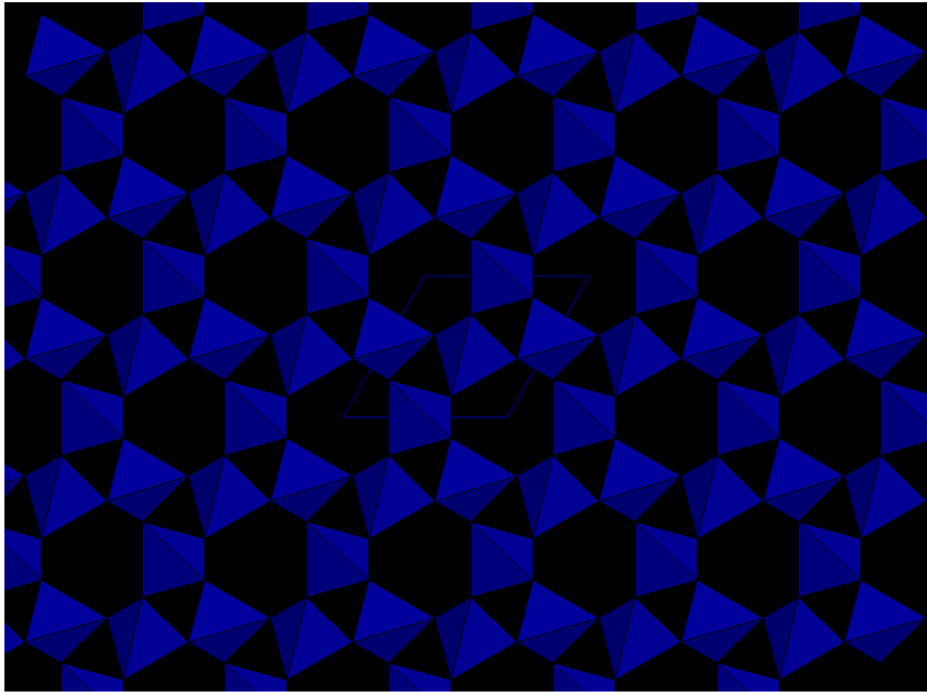


$P3_221$

$$\begin{aligned} x' & \{ 5 1 \bar{6} 1 \} \\ s' & \{ 1 1 \bar{2} 1 \} \end{aligned}$$

STRUTTURE DEI POLIMORFI DELLA SILICE

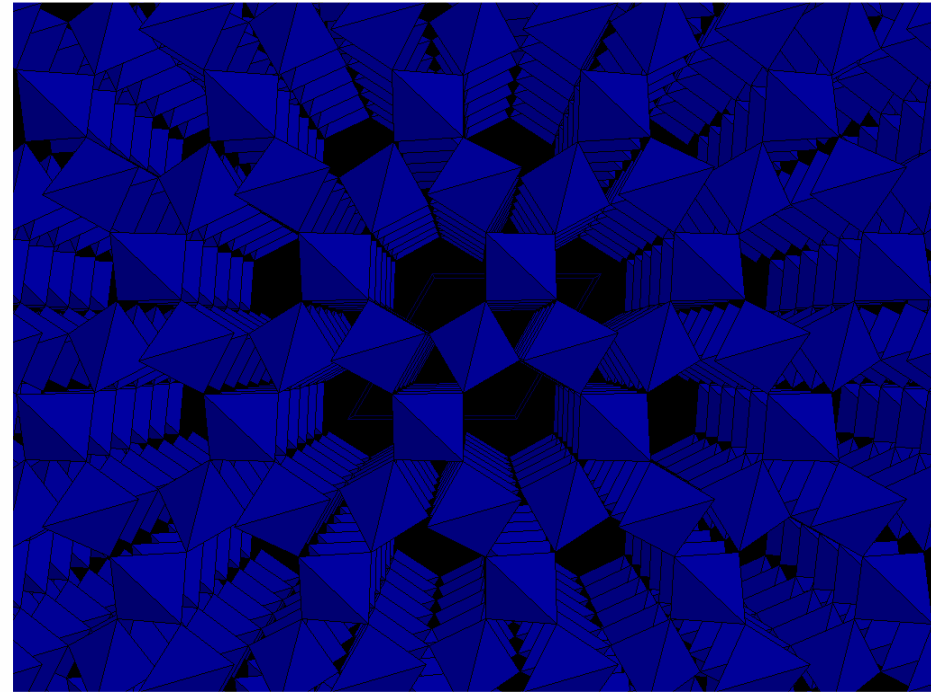
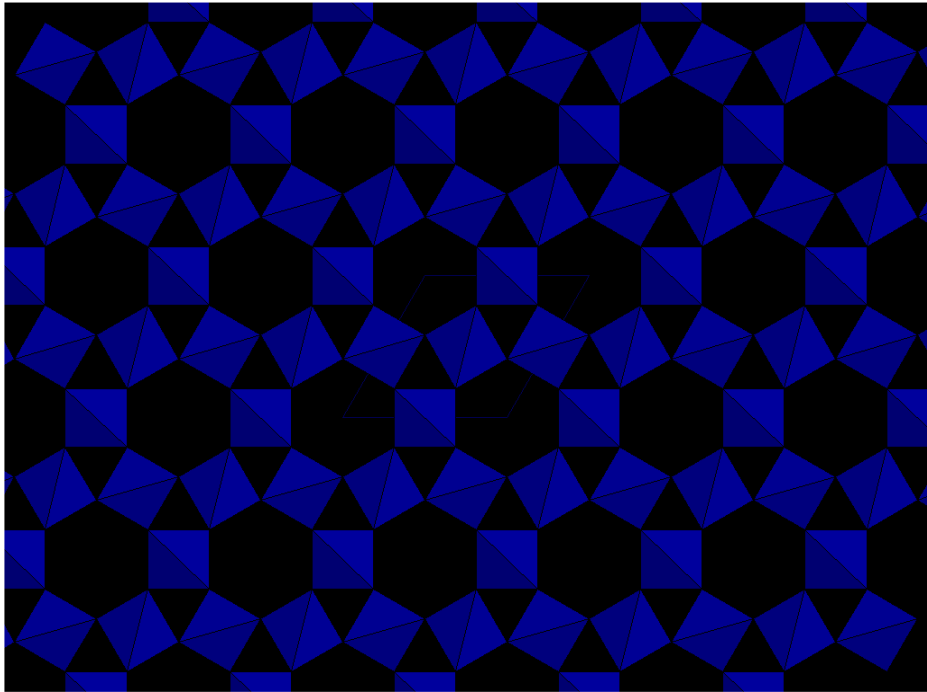
Quarzo α : trigonale



Proiezione 001

STRUTTURE DEI POLIMORFI DELLA SILICE

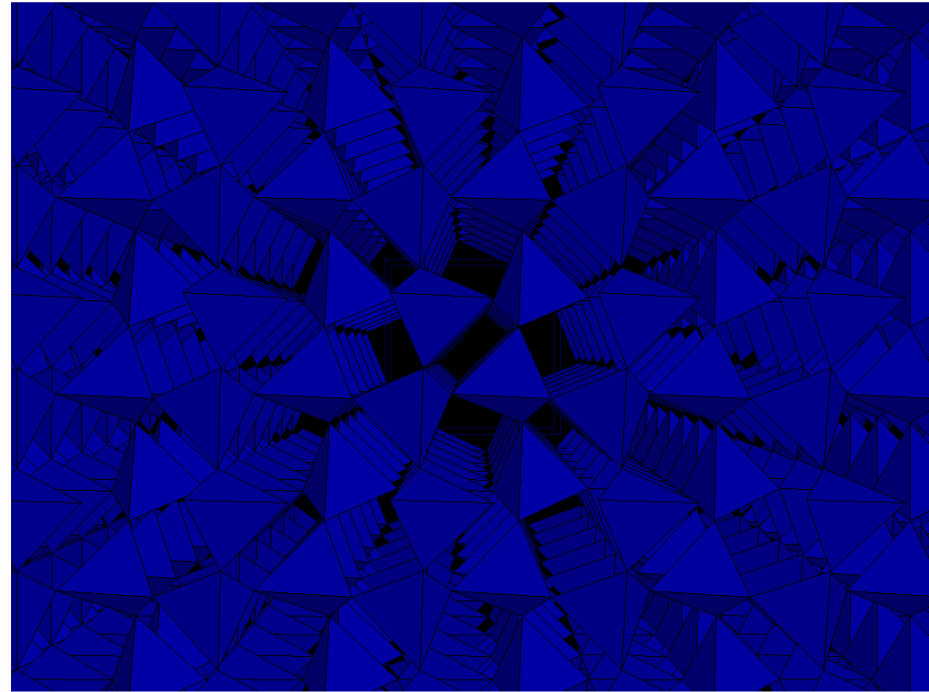
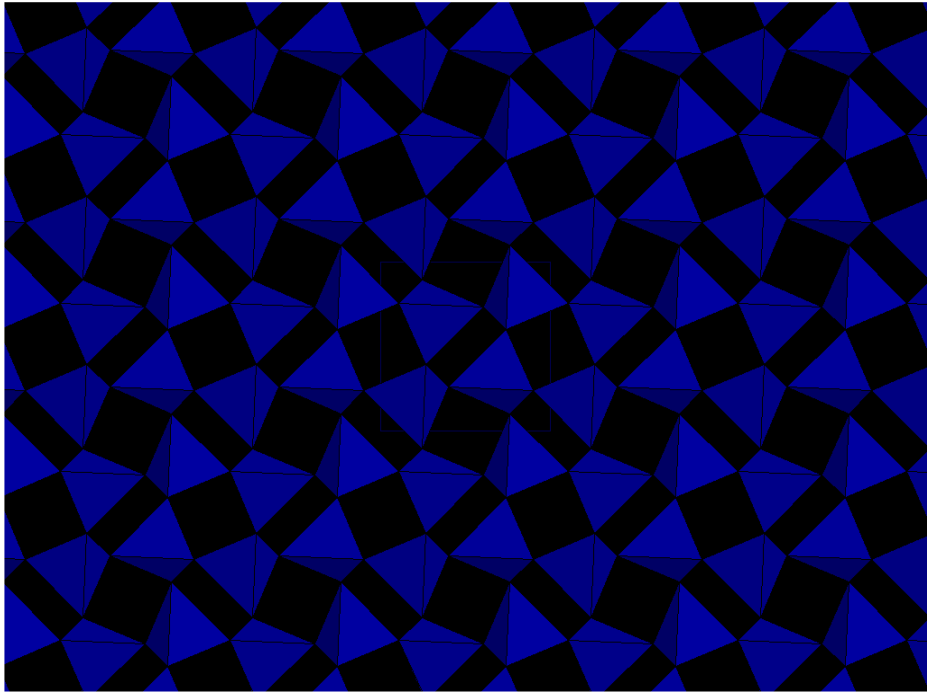
Quarzo β a 581°C: apertura struttura, aumento simmetria
(esagonale)



Proiezione 001

STRUTTURE DEI POLIMORFI DELLA SILICE

Cristobalite: struttura più aperta, simmetria massima (cubica)

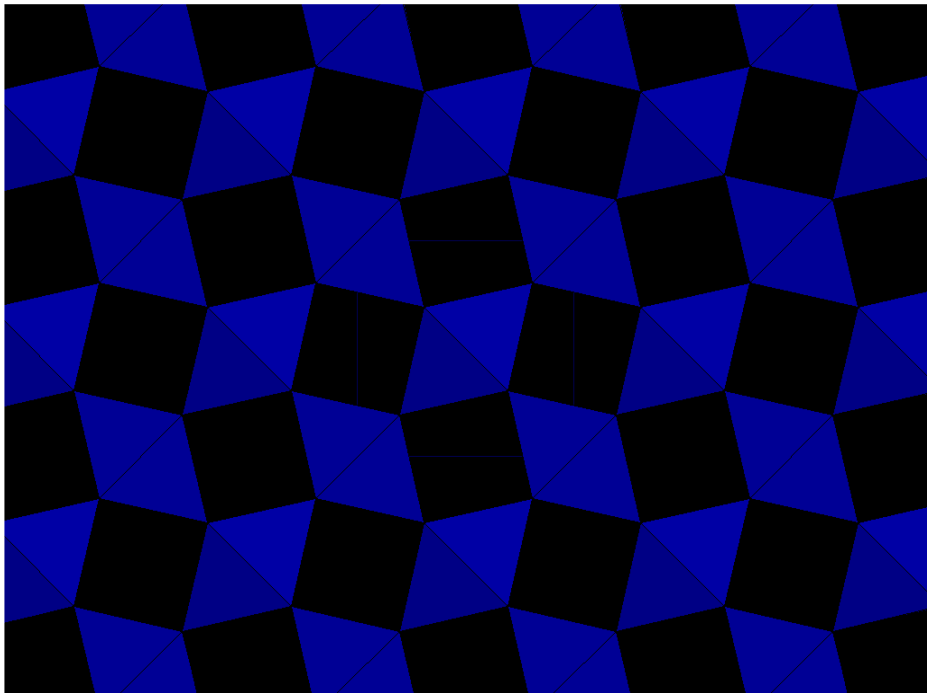


Proiezione 001

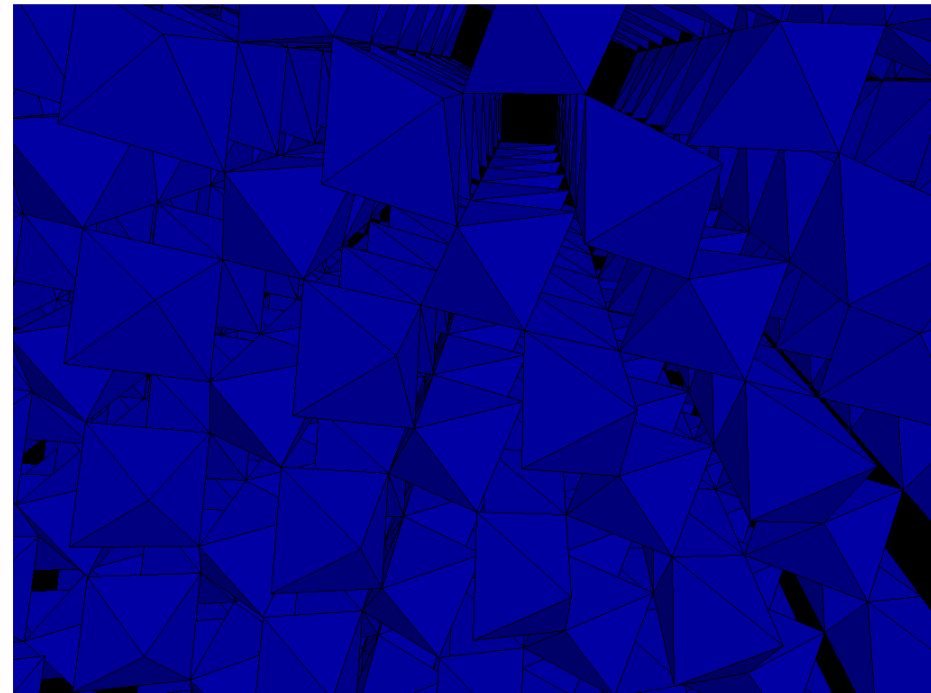
Tectosilicati

STRUTTURE DEI POLIMORFI DELLA SILICE

Stishovite: tetragonale, isostrutturale con il rutilo TiO_2



Proiezione 001



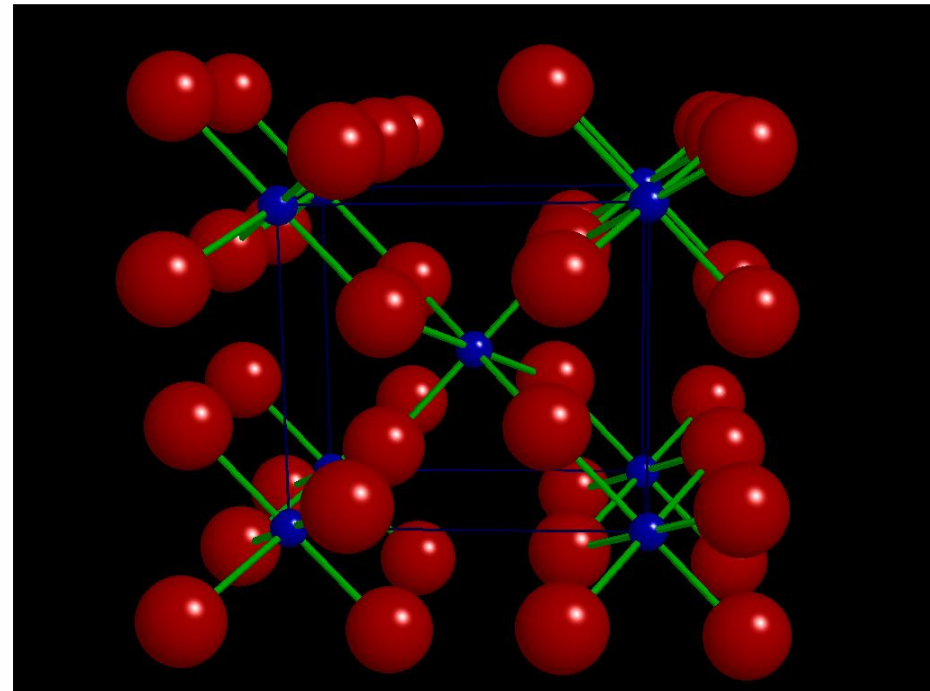
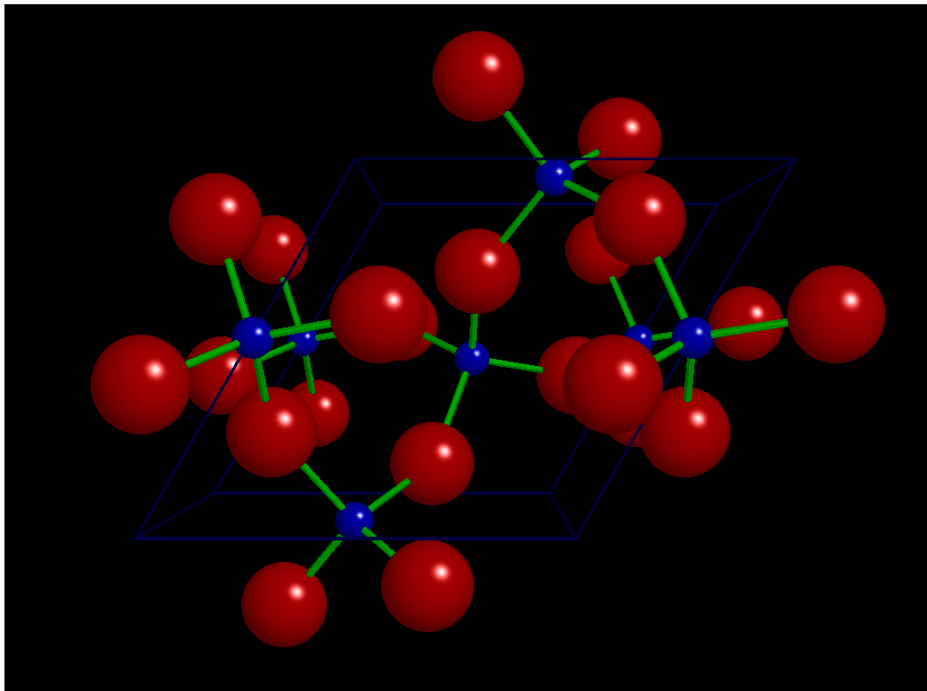
Alta Pressione \rightarrow Si^{VI}

Tectosilicati

STRUTTURE DEI POLIMORFI DELLA SILICE

Quarzo α : Si^{IV}

Stishovite: Si^{VI}

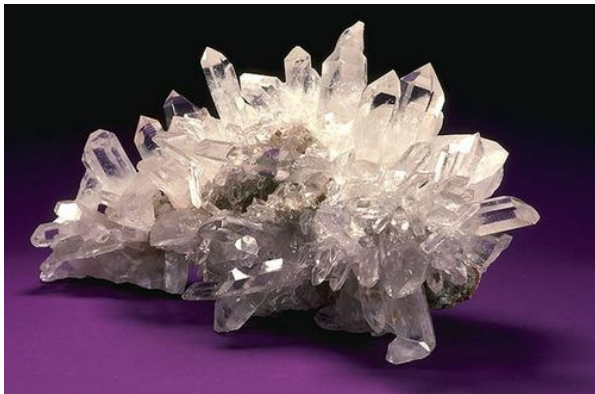


GRUPPO DELLA SILICE

- **Quarzo:** piezoelettrico, trigonale nella forma α ed esagonale nella forma β . Ha durezza 7 e densità 2.65 g/cm^3 . E' componente delle rocce magmatiche acide, sia plutoniche che vulcaniche. Forma cristalli di dimensioni variabilissime. Quelli idrotermali hanno colori diversi (ametista, affumicato, citrino). Può avere origine secondaria (sabbia quarzosa se incoerente, arenaria se ricementato) o di neoformazione, metamorfica. Quello di origine sedimentaria costituisce selci e diaspri.
- **Tridimite:** esagonale, ha durezza 7 e densità 2.28 g/cm^3 . Si trova in alcune lave acide raffreddate rapidamente a bassa pressione. Può contenere (OH)⁻.
- **Cristobalite:** cubica, ha durezza 6.5 e densità 2.33 g/cm^3 . Cristallizza da gel di silice anche a bassa T.

Tectosilicati

Quarzo



Tectosilicati

Quarzo



Varietà incolore

Tectosilicati

Quarzo



Varietà ametista (vicarianza Si-Fe, adsorbimento Fe in canali c)

Tectosilicati

Quarzo



Varietà affumicato (silicio in canali c per irraggiamento naturale)

Tectosilicati

Tridimite, cristobalite



GRUPPO DELLA SILICE

- Le varietà criptocristalline di SiO_2 sono traslucide o prevalentemente opache, mentre le varietà trasparenti tendono ad essere macrocristalline.
- **Calcedonio** è un termine generico per il quarzo criptocristallino, anche se questo termine è generalmente usato solo per materiale bianco o leggermente colorato, altrimenti si usano nomi più specifici.
- **Agata**: Calcedonio a bande multicolore, da semitrasparente a traslucido.
- **Onice**: Agata in cui le bande sono dritte, parallele e di dimensioni consistenti. Se rinvenibile in forma massiva e stratificata prende il nome di **Selce**.
- **Diaspro**: Calcedonio opaco, tipicamente da rosso a marrone.
- **Corniola**: Calcedonio arancione rossastro, traslucido.
- **Occhio di tigre**: Quarzo fibroso dorato o rosso-marrone.

Tectosilicati

GRUPPO DELLA SILICE



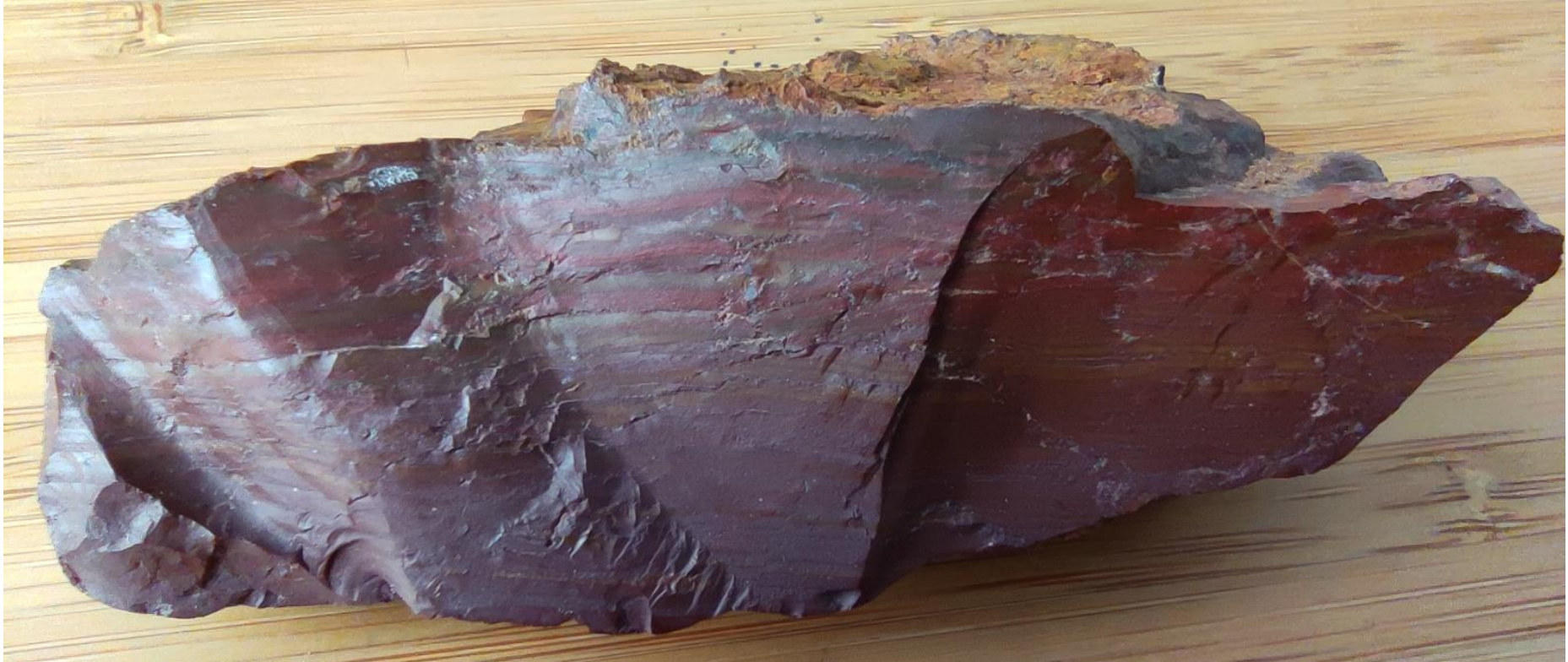
Tectosilicati

Calcedonio



Tectosilicati

Diaspro



Tectosilicati

Occhio di tigre



Associazione regolare parallela di crocidolite fibrosa alterata



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DIPARTIMENTO
DI GEOSCIENZE

CIRCe

Centro Interdipartimentale di Ricerca
per lo Studio dei Materiali Cementizi
e dei Leganti Idraulici

CIBA

CENTRO PER I
BENI CULTURALI

DIAGNOSTICA - RILIEVO - TECNOLOGIE

Mineralogia e Petrografia per i Beni Culturali

Tectosilicati

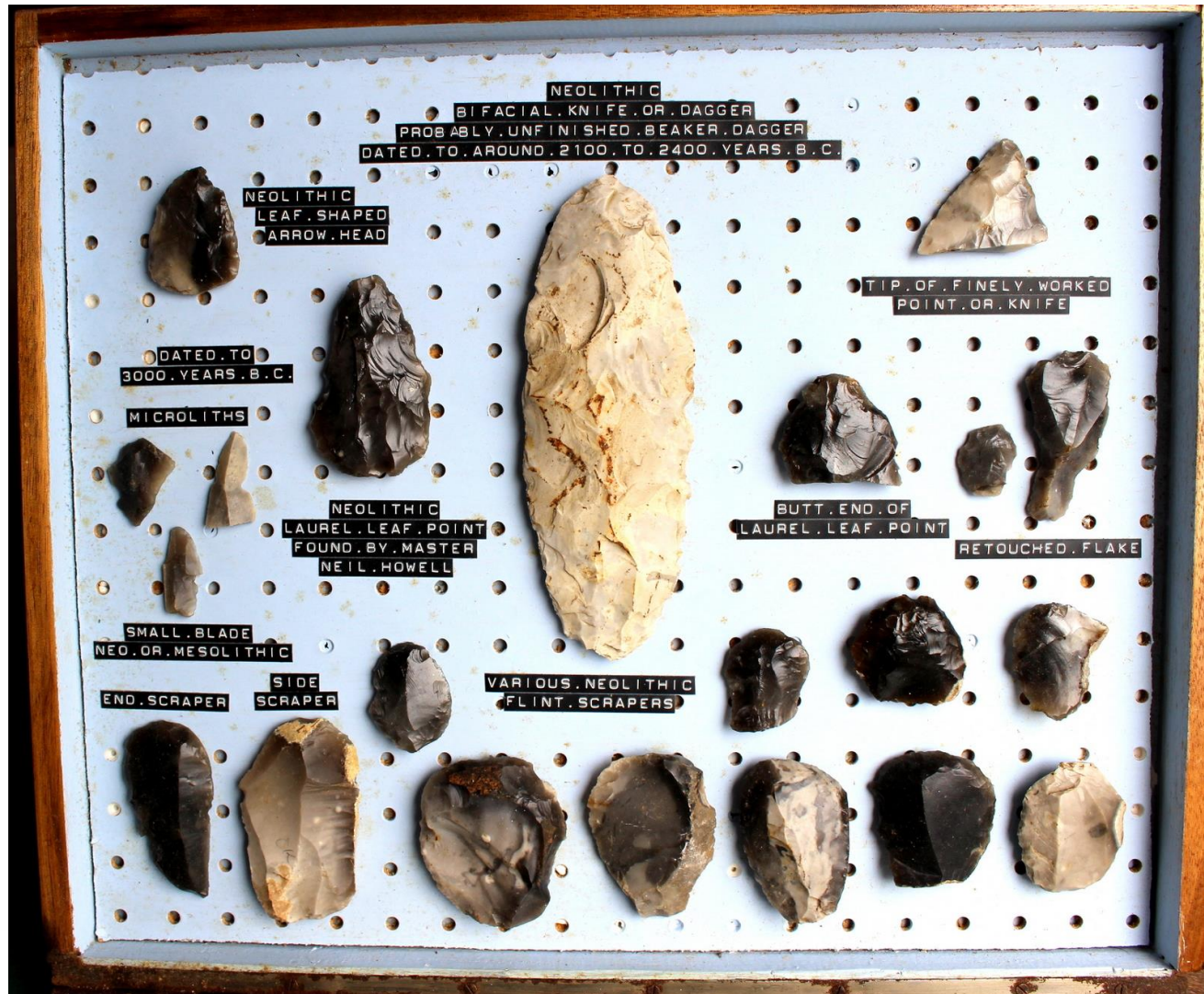
Selce



Nodulo di selce in roccia carbonatica sedimentaria (biancone)

Tectosilicati

Utensili in selce dell'Età della Pietra



Tectosilicati

Quarzo microcristallino nella gioielleria antica



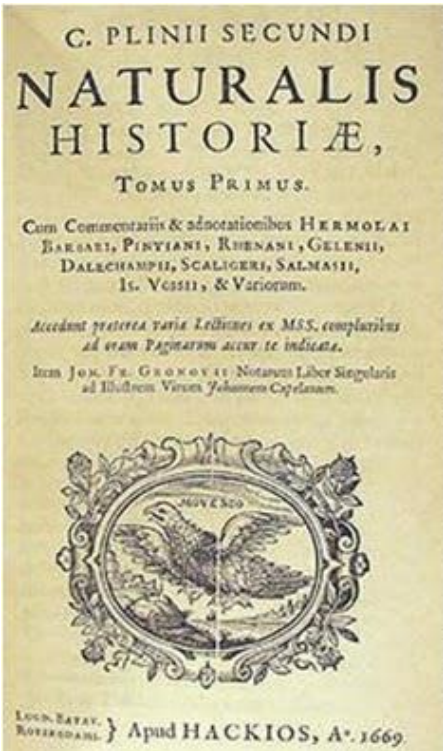
Corredo funerario di Tutankhamun,
pendente con diaspro e corniola



Gran Cammeo di Francia (epoca
Romana, 23 d.C., onice lavorato)

Naturalis Historia: varietà di quarzo microcristallino

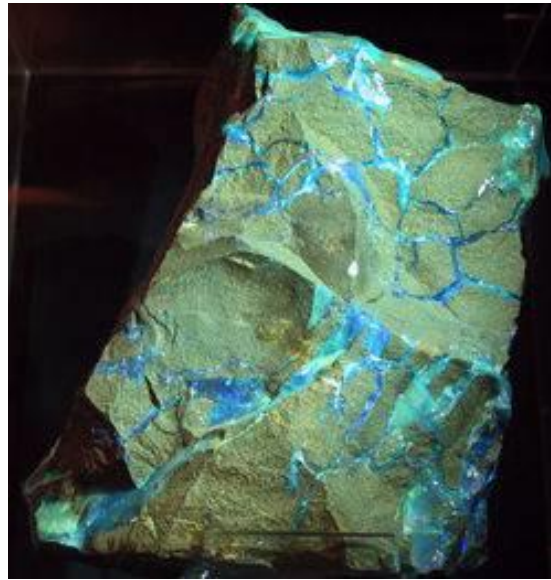
- Libro 37, Capitolo 23: *Sardonyx* (calcedonio a bande rosse e bianche);
- Libro 37, Capitolo 24: *Onyx* (onice)
- Libro 37, Capitolo 31: *Sarda* (corniola);
- Libro 37, Capitolo 34: *Prasius* (crisoprasio, calcedonio verde per inclusioni di nichel);
- Libro 37, Capitolo 35: *Nilion* (diaspro Egiziano);
- Libro 37, Capitolo 37: *Iaspis* (diaspro verde);
- Libro 37, Capitolo 54: *Achates* (varie tipologie di agata).



GRUPPO DELLA SILICE

Opale ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). L'opale è un gel mineraloide (o criptomicrocristallino) che si deposita a temperature relativamente basse e può rinvenirsi nelle fessure di quasi tutti i tipi di roccia, più comunemente in associazione a limonite, arenaria, riolite e basalto.

Il contenuto di acqua è di solito tra il 3 - 10 % in peso.

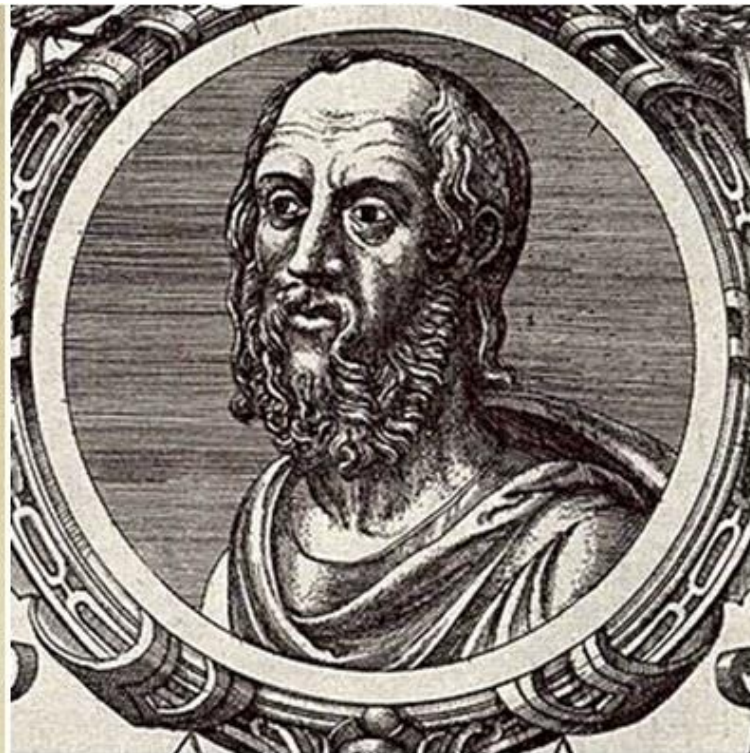
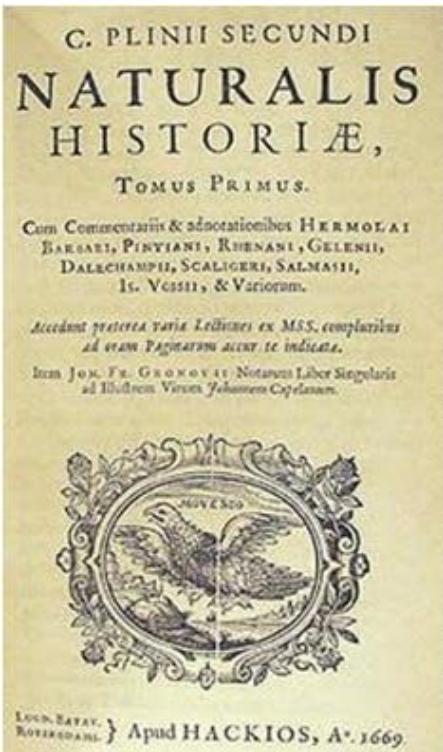


Tectosilicati

Opale

Libro 37, Capitolo 21

"Gli opali sono allo stesso tempo molto simili e molto diversi dai berilli, e sono superati in valore solo dagli smeraldi. L'India è l'unico luogo d'origine di queste pietre preziose, completando così la sua gloria di più grande produttore delle gemme più costose. Di tutte le pietre preziose, è l'opale che presenta le maggiori difficoltà di descrizione, mostrando allo stesso tempo il fuoco penetrante del rubino, la brillantezza viola dell'ametista, e il verde mare dello smeraldo, tutti uniti insieme e splendenti di incredibile luminosità."



Tectosilicati

FELDSPATI

- Costituiscono il gruppo più importante dei minerali delle rocce.
- Formano circa il 60% della crosta terrestre.
- Possono essere presenti praticamente in tutti i tipi di rocce magmatiche, metamorfiche e sedimentarie clastiche.
- Sono minerali di grande importanza economica, essenziali nelle industrie della ceramica e del vetro e in altri settori produttivi (plastiche, carta, vernici, ecc.).



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

dbc
DIPARTIMENTO
DEI BENI CULTURALI
ARCHEOLOGIA, STORIA
DELL'ARTE, DEL CINEMA
E DELLA MUSICA



DIPARTIMENTO
DI GEOSCIENZE

CIRCe
Centro Interdipartimentale di Ricerca
per lo Studio dei Materiali Cementizi
e dei Leganti Idraulici

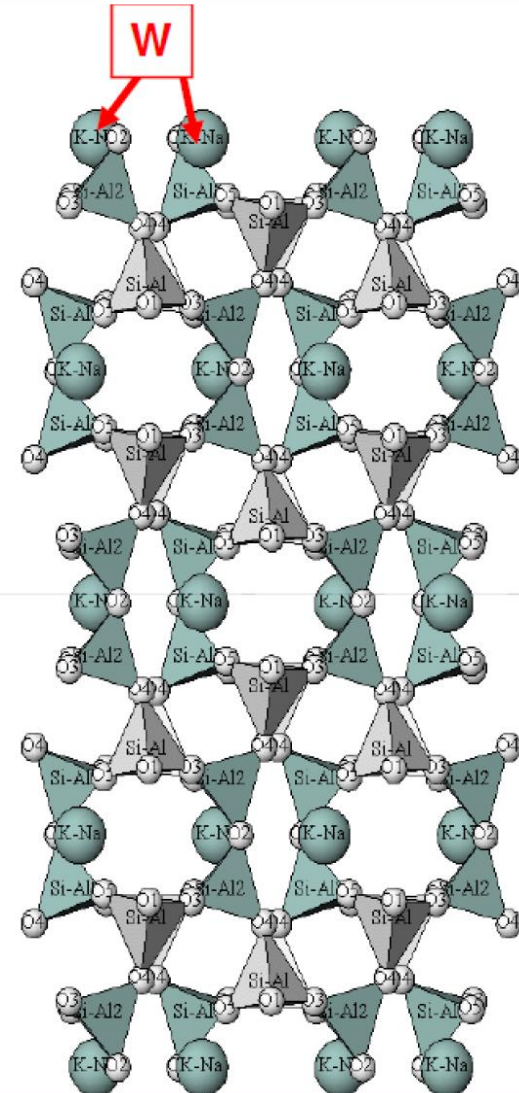
CIBA CENTRO PER I
BENI CULTURALI
DIAGNOSTICA - RILIEVO - TECNOLOGIE

Mineralogia e Petrografia per i Beni Culturali

Tectosilicati

FELDSPATI

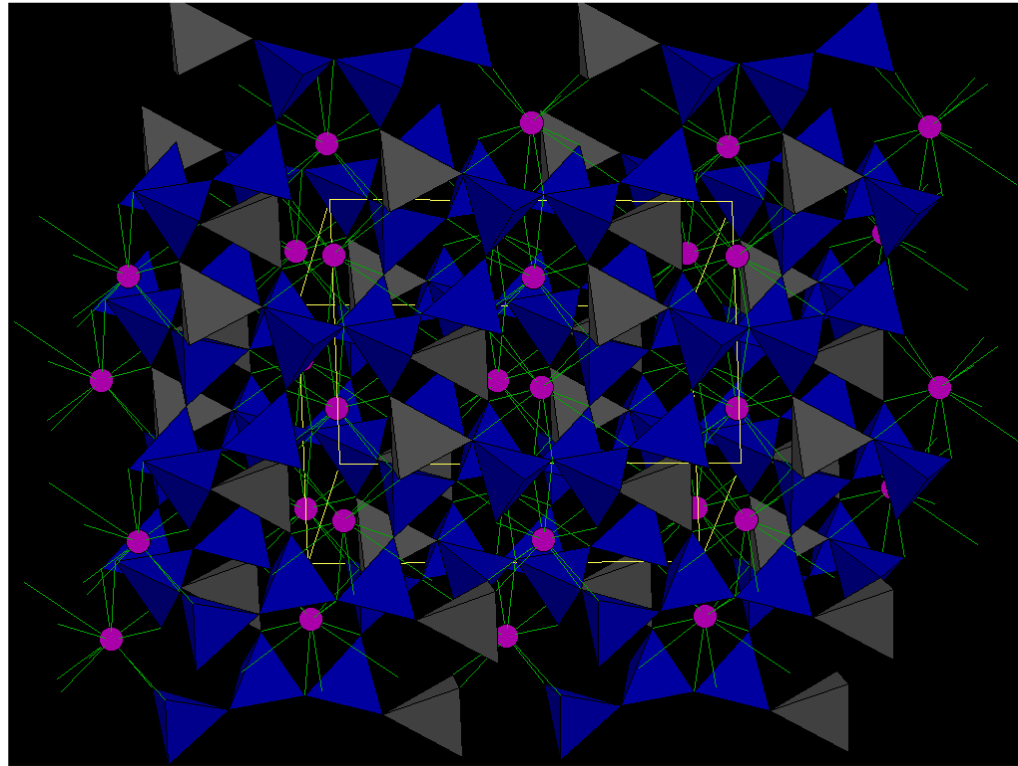
- Formula generale: $W(ZO_2)_4$, dove W è un grosso catione (K, Na, Ca, Ba) che si dispone negli ampi spazi esistenti tra l'impalcatura tridimensionale dei tetraedri Z-O.
- Il bilancio di cariche richiede che si abbia Al in uno o due dei quattro tetraedri a seconda che il catione W sia mono- o bivalente.



Tectosilicati

FELDSPATI

- Se entra Al^{3+} al posto di Si^{4+} , un catione monovalente (Na^+ , K^+) è necessario per il bilancio di carica.
- Se entrano 2 Al^{3+} al posto di Si^{4+} allora il Ca^{2+} bilancia.



Albite: $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

Tectosilicati

FELDSPATI

La “famiglia” dei feldspati è una serie isomorfa di minerali con tre “endmembers”:

[K-feldspato	(Kfs)	KAlSi_3O_8	
	Albite	(Ab)	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$]
	Anortite	(An)	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	

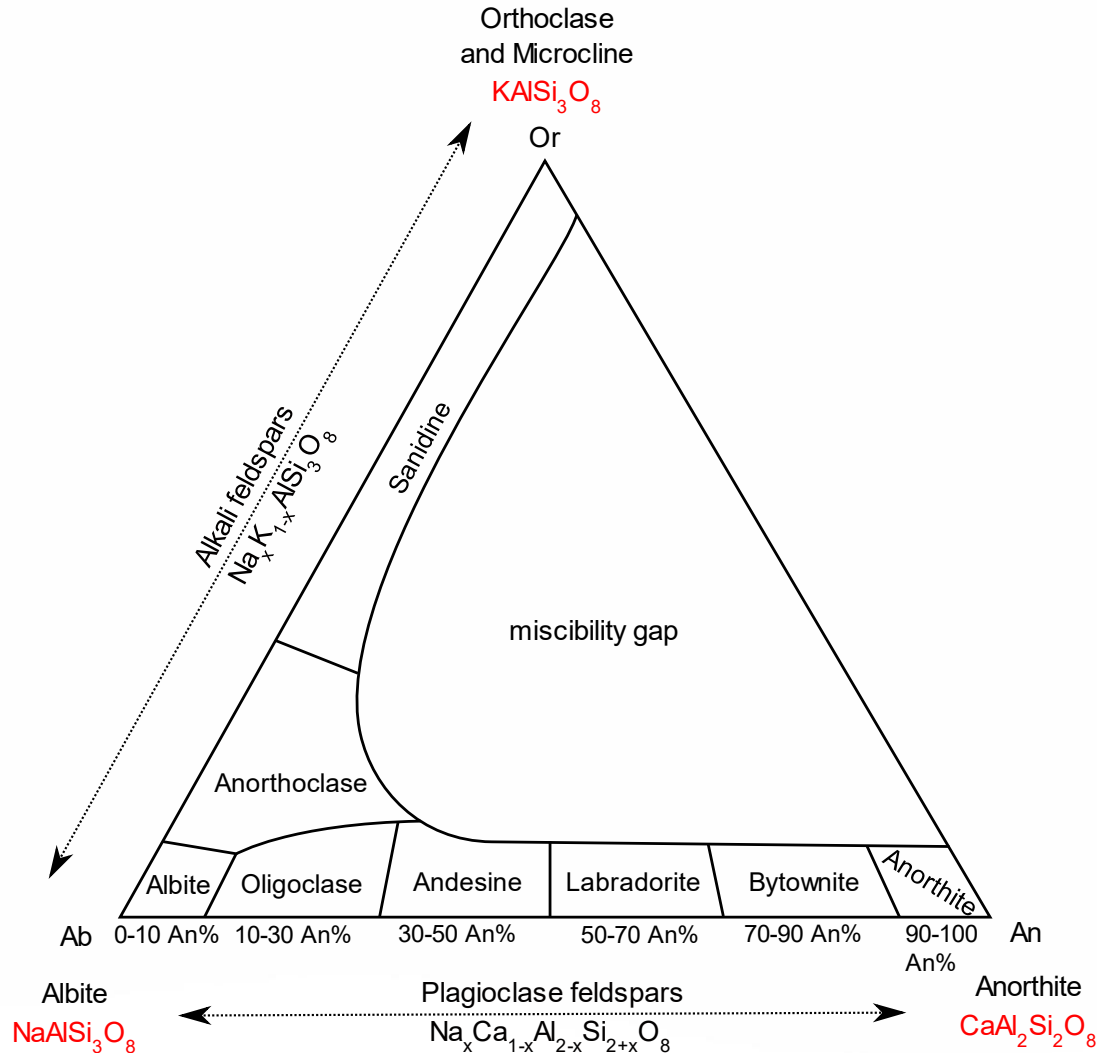
Alcalifeldspati: soluzioni solide tra K-feldspato e albite.

Plagioclasti: soluzioni solide tra albite e anortite.

I feldspati di Ba, **celestina** ($\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) e **ialofane** ($(\text{Ba},\text{K})(\text{Al},\text{Si})_2\text{Si}_2\text{O}_8$), sono rari.

Tectosilicati

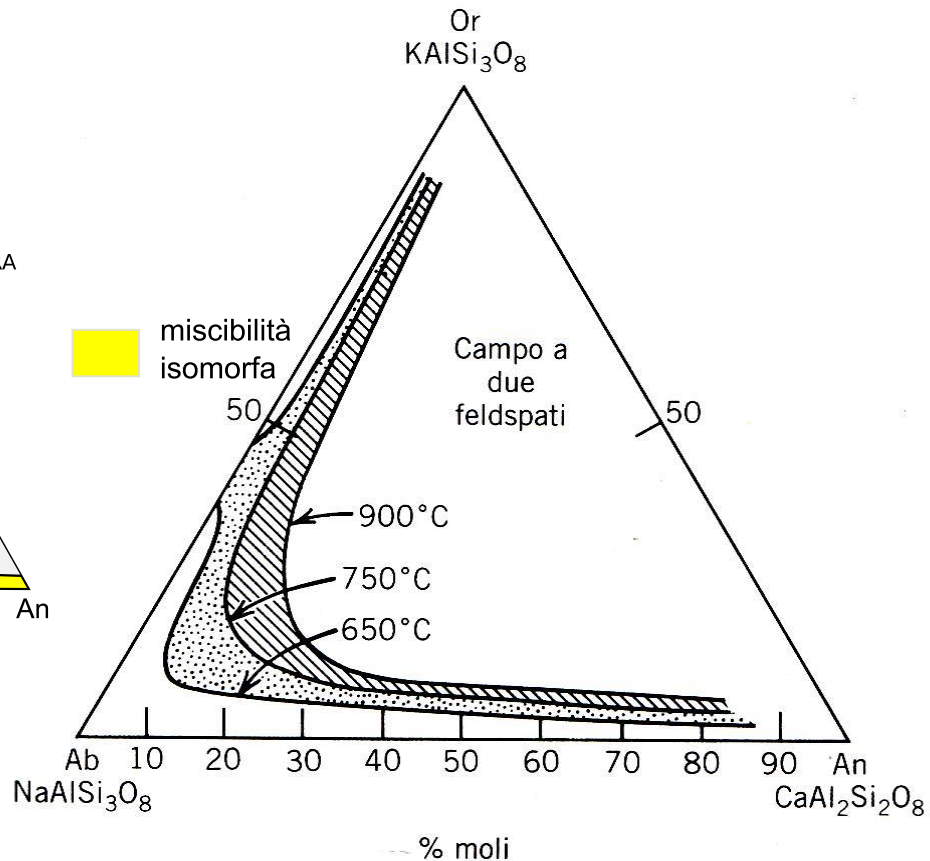
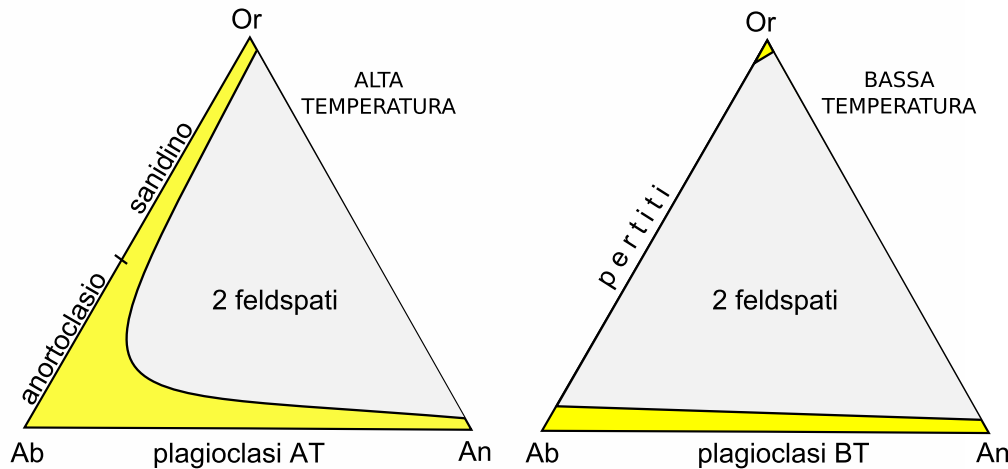
FELDSPATI



Tectosilicati

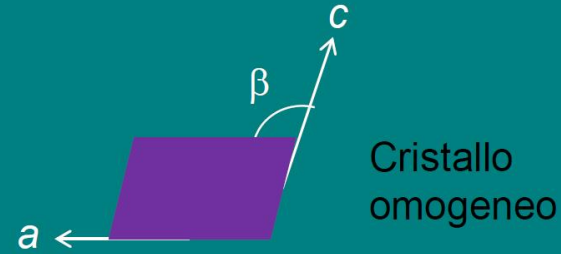
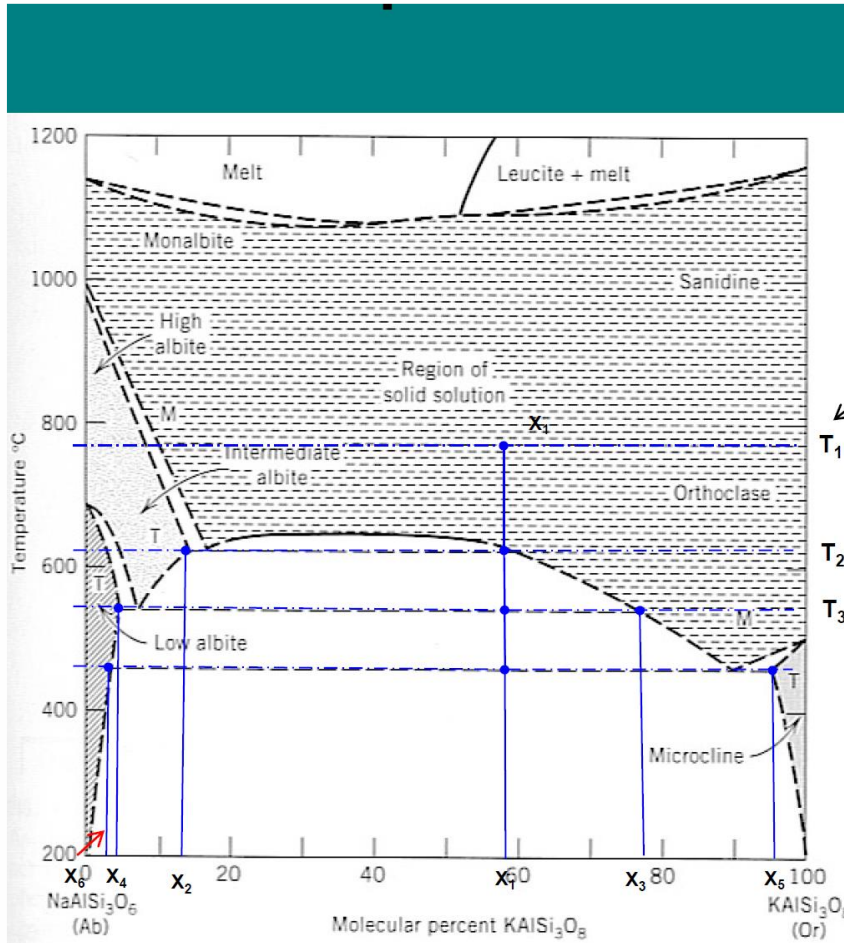
FELDSPATI

- Le serie degli alcalifeldspati e dei plagioclasii hanno soluzioni solide complete solo ad alta T, in particolare gli alcalifeldspati.
- Fra KAlSi_3O_8 e $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ si hanno soluzioni solide molto limitate.

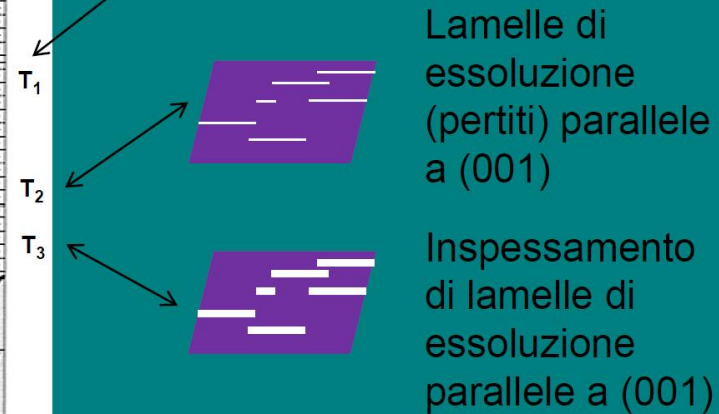


Tectosilicati

FELDSPATI



Cristallo omogeneo



Lamelle di essoluzione (periti) parallele a (001)

Inspessamento di lamelle di essoluzione parallele a (001)



Periti (essoluzioni di albite nel microclino)

Tectosilicati

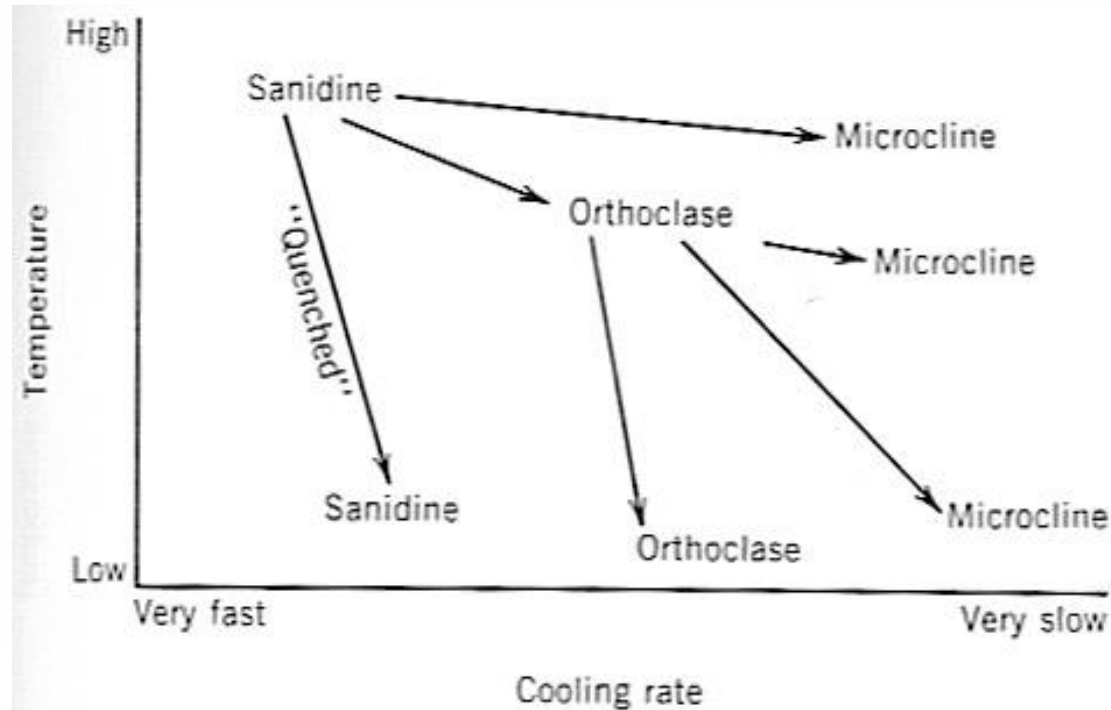
FELDSPATI



Tectosilicati

FELDSPATI POTASSICI

Il **microclino** (triclino) è caratteristico di rocce cristallizzate ad elevata profondità e di pegmatiti (lento raffreddamento magma, cristallizzazione a bassa temperatura), l'**ortoclasio** (monoclinico) di rocce intrusive formatesi a temperature intermedie e il **sanidino** (monoclinico) di rocce effusive di alta temperatura.



Tectosilicati

FELDSPATI POTASSICI



Microclino



Ortoclasio



Sanidino

Tectosilicati

Ortoclasio



Cristalli tabulari/prismatici

Tectosilicati

Sanidino

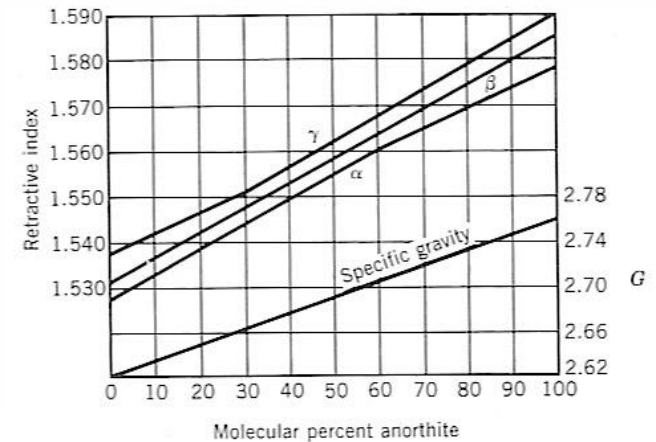
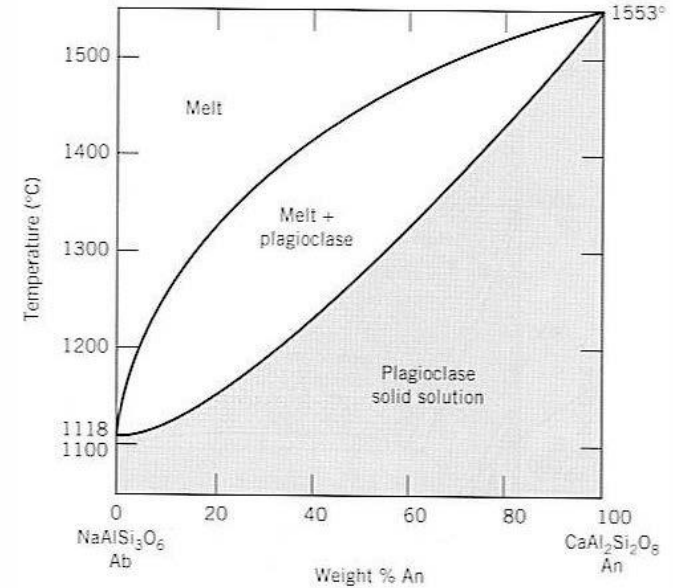


Cristalli tabulari

Tectosilicati

PLAGIOCLASI

Nome	% $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	% $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Anortite	90-100	10-0
Bytownite	70-90	30-10
Labradorite	50-70	50-30
Andesina	30-50	70-50
Oligoclasio	10-30	90-70
Albite	0-10	100-90



TUTTI TRICLINI

Mineralogia e Petrografia per i Beni Culturali

Tectosilicati

PLAGIOCLASI



Anortite



Andesina



Albite

Tectosilicati

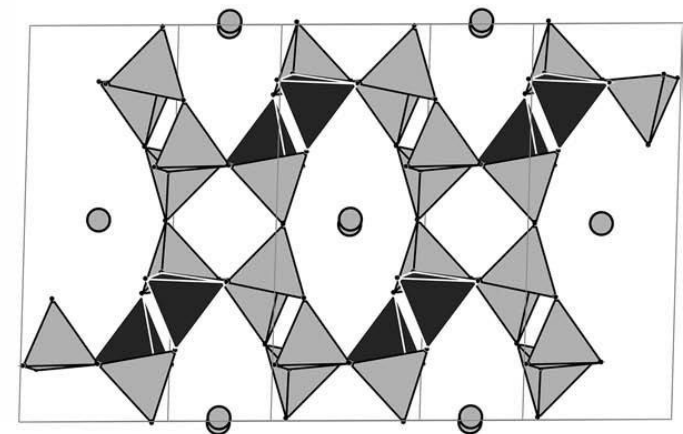
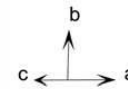
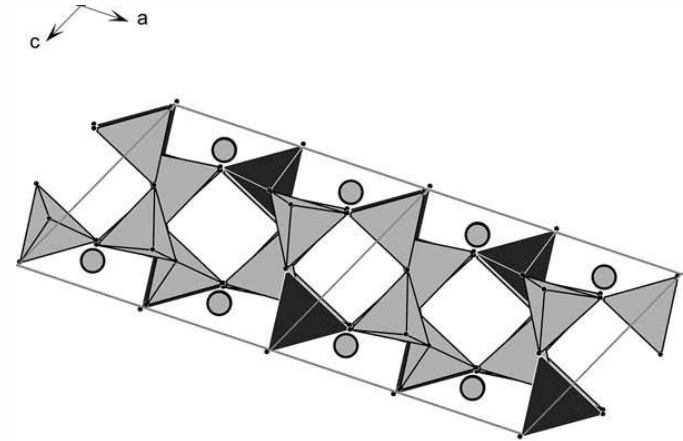
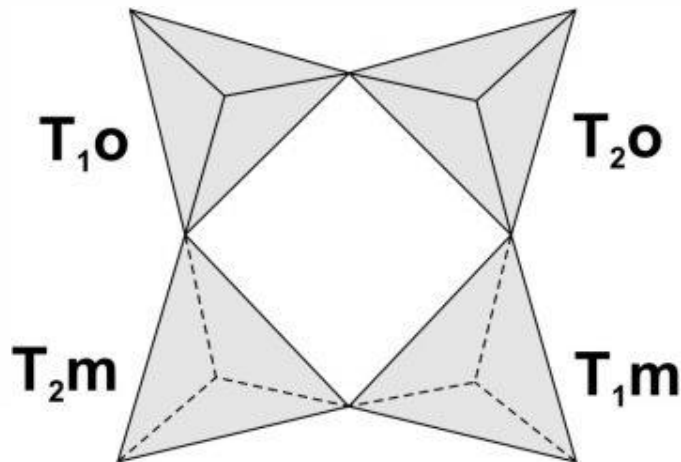
Albite



Cristalli tabulari/prismatici

STRUTTURE DEI FELDSPATI

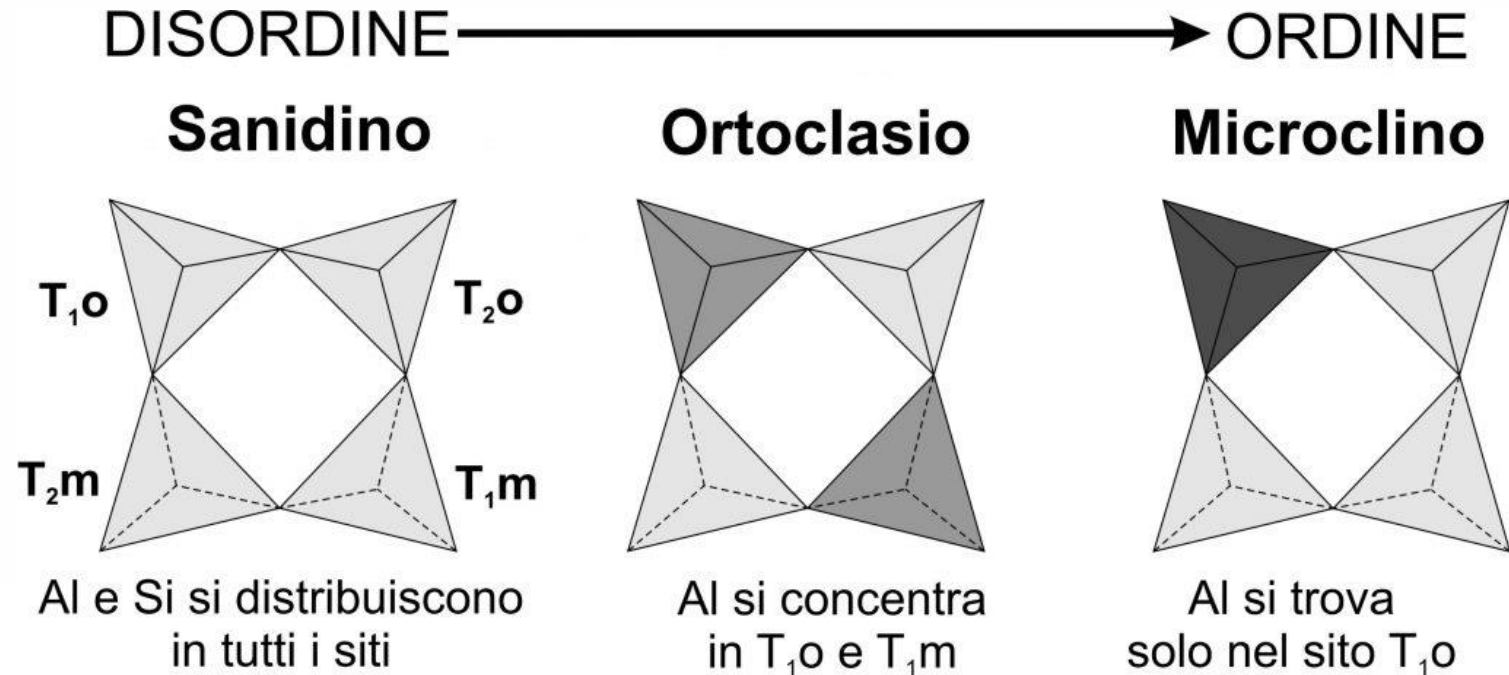
Impalcatura di tetraedri $(\text{Si,Al})\text{O}_4$ a gruppi di 4 (due orientati verso su, due verso giù), formata da catene doppie note come “doppio collo d’oca” con spazi liberi nei quali trovano posto i cationi.



STRUTTURE DEI FELDSPATI

Ordinamento cationico nei feldspati potassici

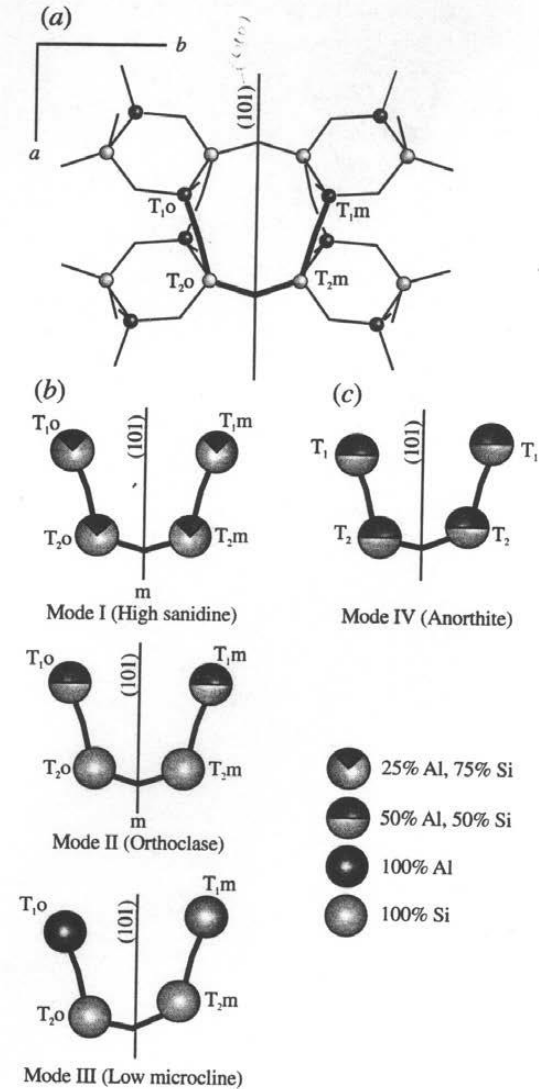
- Forma di polimorfismo ordine-disordine.
- Al diminuire della temperatura, l'Al favorisce dei siti specifici del reticolo cristallino del feldspato, causando il cambiamento di struttura da monoclina a triclina (microclino).



STRUTTURE DEI FELDSPATI

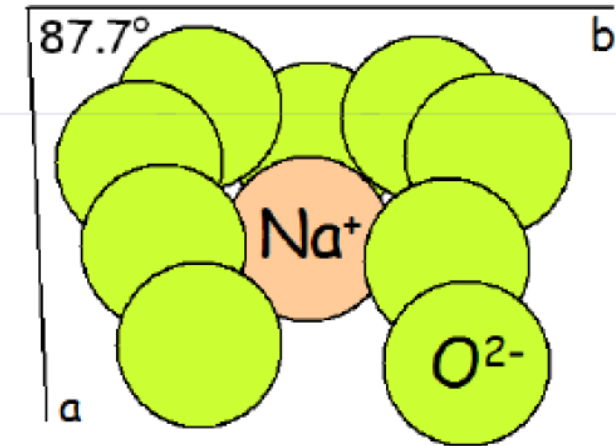
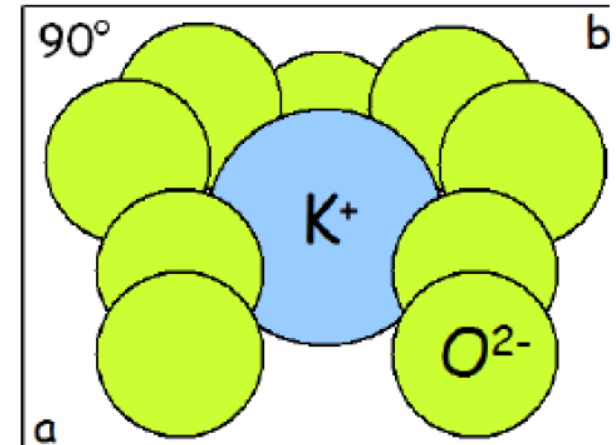
Ordinamento cationico nei feldspati

- Modo I: **Sanidino**. Disordine completo. Al e Si sono distribuiti in modo casuale fra i 4 tetraedri. La struttura è monoclina.
- Modo II: **Ortoclasio**. Tutto Al è collocato nei siti T1. I siti T2 contengono solo Si. Il piano di riflessione è ancora conservato.
- Modo III: **Microclino**. L'Al è ordinato in un solo sito T1. Questo distrugge il piano di riflessione e la struttura diventa triclinica.
- Modo IV: **Anortite**. Si e Al occupano in modo alternato i siti T1 e T2. La struttura è triclinica.



STRUTTURE DEI FELDSPATI

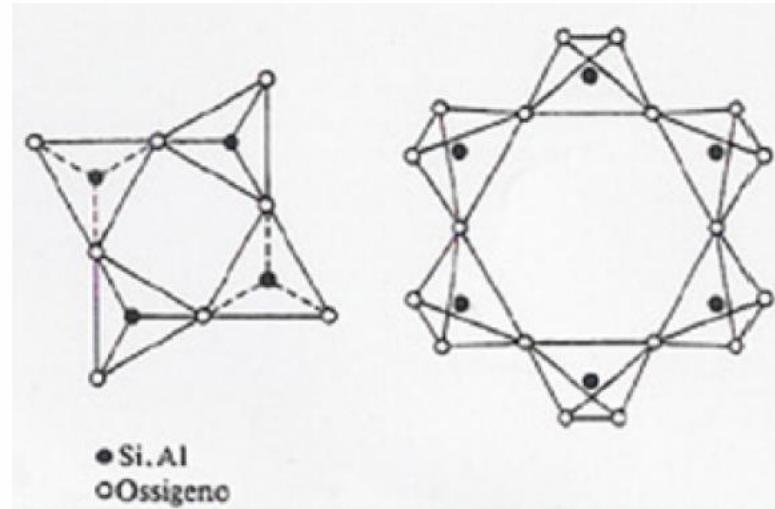
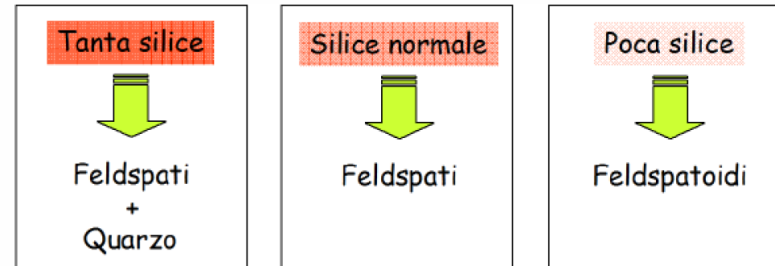
- **Sanidino** $\rightarrow K^+ \rightarrow C.N. = 9$.
- **Albite** $\rightarrow Na^+ \rightarrow C.N. = 7$.
- Rispetto al sanidino, nella struttura dell'albite si verifica una distorsione del sito cationico. Il catione Na^+ è troppo piccolo per le dimensioni del sito e la simmetria decresce da monoclina a triclinica.



Tectosilicati

FELDSPATOIDI

- Gruppo di minerali comprendente diverse serie di alluminosilicati di sodio, potassio e calcio.
- Rispetto ai corrispondenti feldspati, hanno un minor contenuto di silice per deficit dell'elemento nel magma di provenienza.
- Molto meno diffusi dei feldspati.
- Due serie principali: **leucite** (KAlSi_2O_6) e **nefelina** ($(\text{Na,K})\text{AlSiO}_4$).
- Due serie minori: **cancrinite** e **sodalite**.
- Strutture cubiche o esagonali.
- Esempio struttura feldspatoidi: leucite, il cui framework tetraedrico è strutturato su unità elementari costituiti da anelli di quattro e sei tetraedri. Anelli tetraedrici formano canali, i cui centri sono occupati dallo ione K^+ .



Tectosilicati

FELDSPATOIDI



Leucite
 KAlSi_2O_6



Nefelina
 $(\text{Na},\text{K})\text{AlSiO}_4$



Sodalite
 $\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6\text{Cl}_2$

Tectosilicati

Lazurite $(\text{Na,Ca})_8[(\text{S,Cl,SO}_4,\text{OH})_2](\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})$



Membro del gruppo della sodalite, aggregati massivi (lapislazzuli)



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DIPARTIMENTO
DI GEOSCIENZE

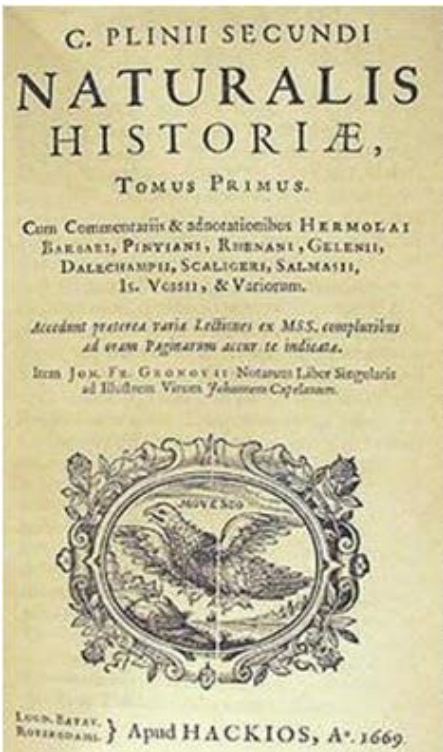
CIRCe
Centro Interdipartimentale di Ricerca
per lo Studio dei Materiali Cementizi
e dei Leganti Idraulici

CIBA CENTRO PER I
BENI CULTURALI
DIAGNOSTICA - RILIEVO - TECNOLOGIE

Mineralogia e Petrografia per i Beni Culturali

Lapislazzuli nella *Naturalis Historia* (Sapphiros)

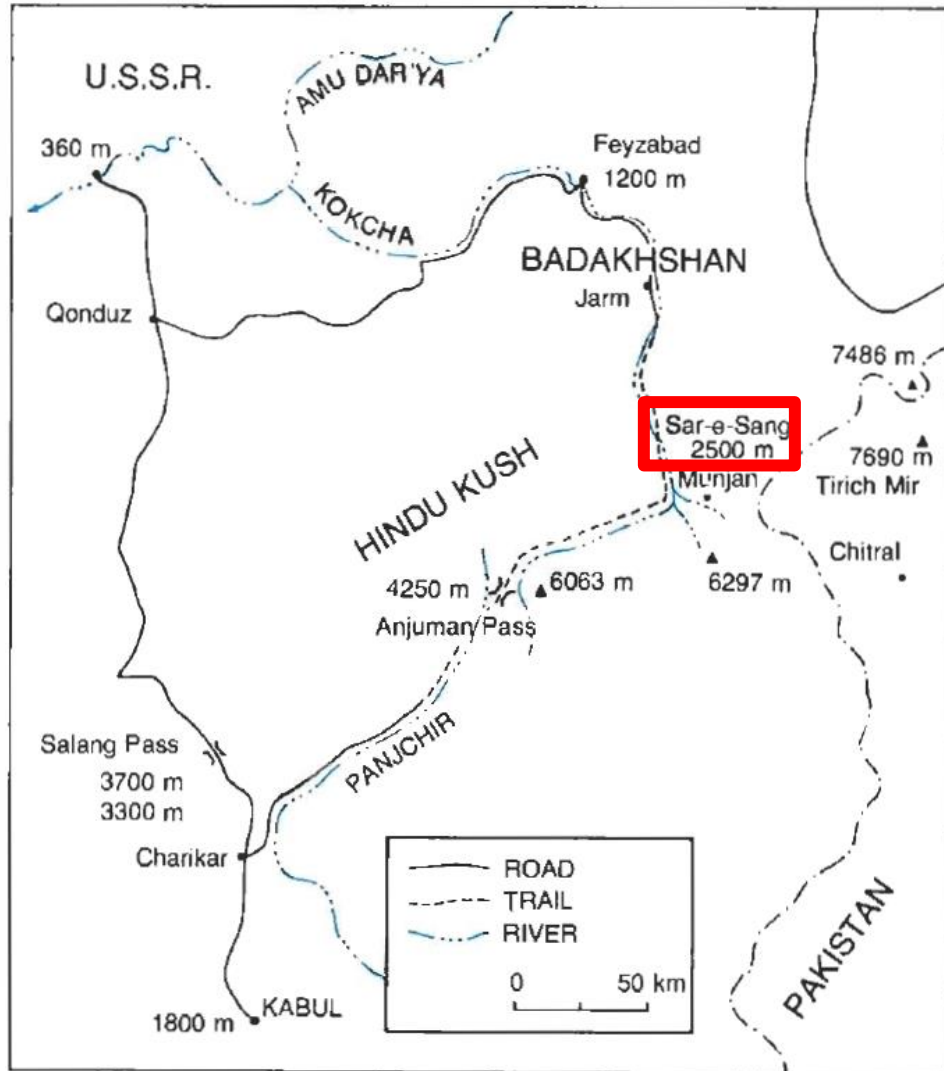
Libro 37, Capitolo 39



"Anche il lapislazzuli è blu, e solo raramente si tinge di viola. Il migliore si trova in Persia. In nessun caso, tuttavia, questa pietra è trasparente. Oltre a ciò, non è adatta all'incisione quando è intersecata con particelle dure di natura cristallina."

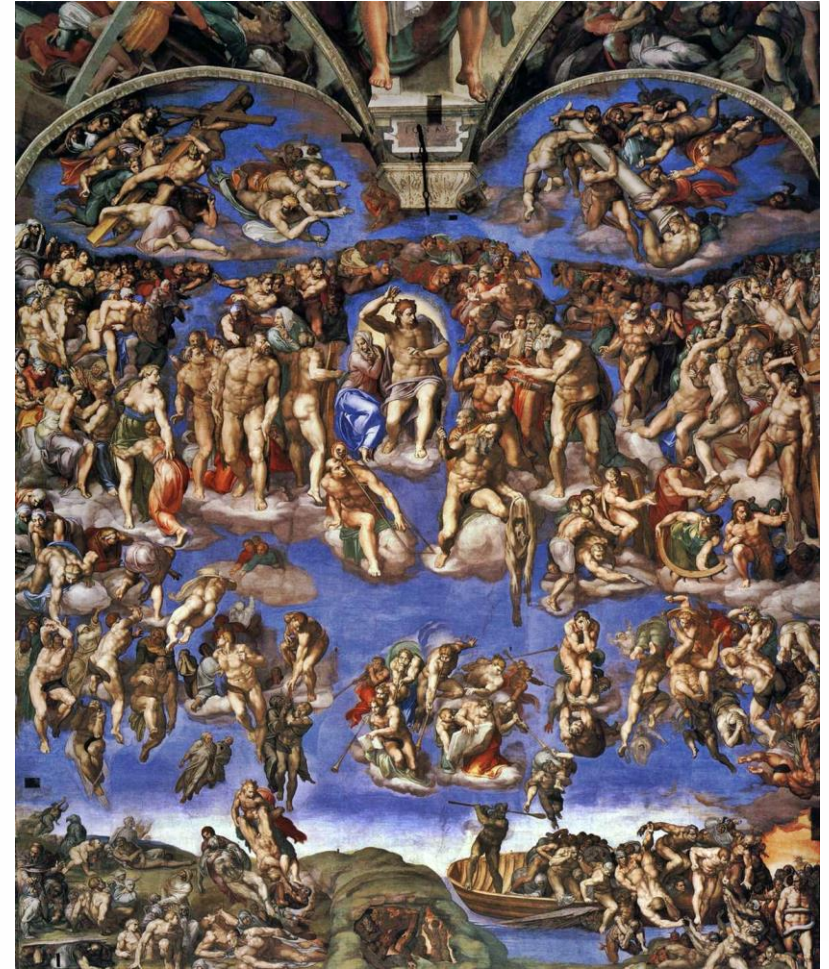
Tectosilicati

Miniere di lapislazzuli in Afghanistan



Tectosilicati

Blu Oltremare



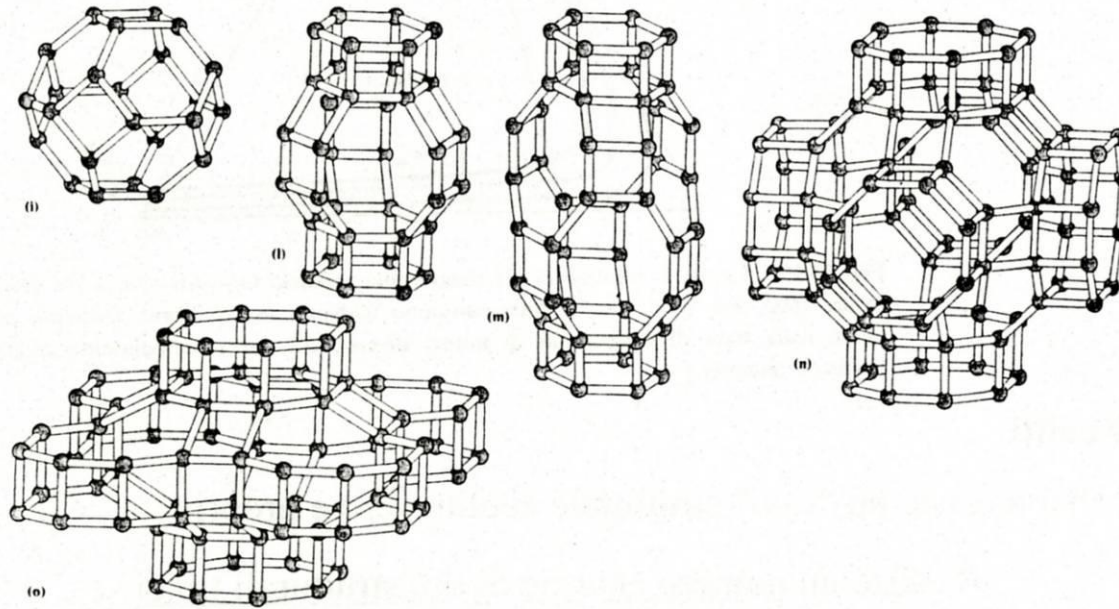
Giotto, Cappella degli Scrovegni, Il Bacio di Giuda (1303)

Michelangelo, Cappella Sistina, Giudizio Universale (1536-1541)

Tectosilicati

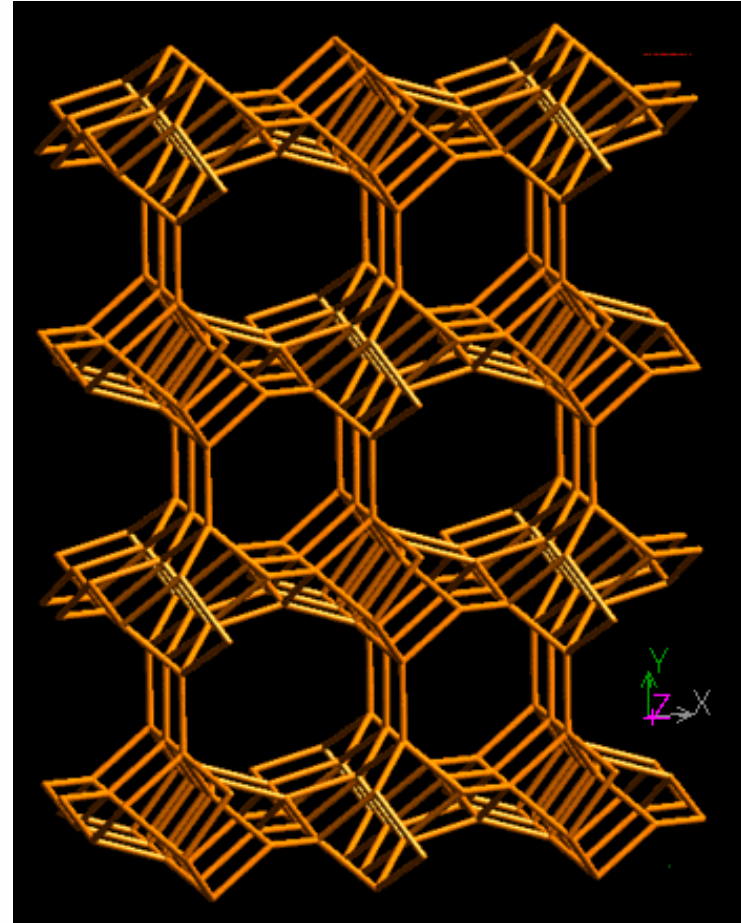
ZEOLITI

- **Alluminosilicati idrati** caratterizzati da un'alta superficie specifica ed un'elevata capacità di scambio cationico.
- Le zeoliti hanno cavità e tunnel strutturali che possono ospitare/trattenere cationi, acqua o altro tipo di molecole.



ZEOLITI

- Impalcatura tectosilicatica e ioni Na^+ , K^+ e H_2O in quantità variabile.
- Struttura ancor più «aperta» di quella dei feldspati. I tetraedri formano un network continuo di canali e cavità con dimensioni variabili.
- L' H_2O è legata debolmente attraverso legami ad idrogeno agli anioni del reticolo. Può abbandonare la struttura tramite riscaldamento attraverso i canali, abbandonando la struttura senza causarne il collasso.
- Le zeoliti sono tipici minerali secondari e si rinvencono spessissimo in cavità e fessure di rocce vulcaniche (soprattutto basalti), nonché per deposizione idrotermale.

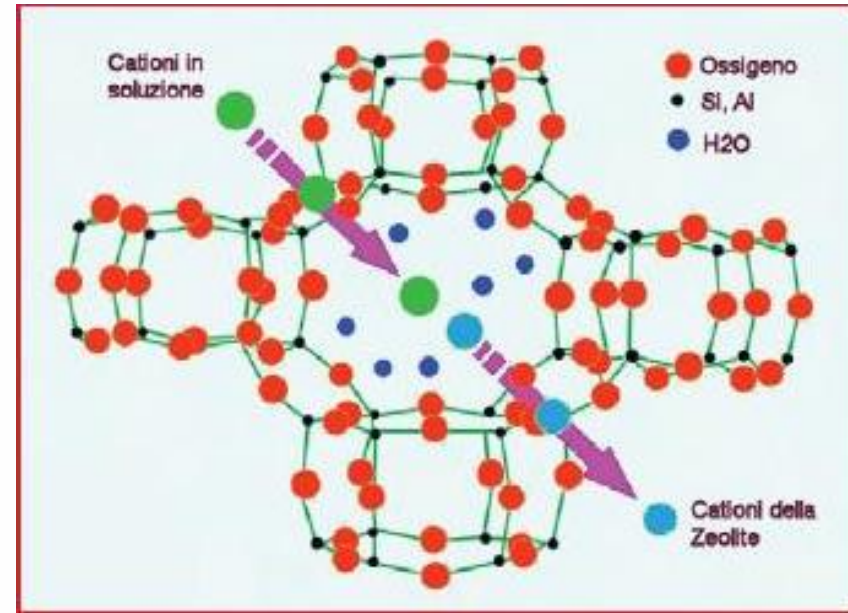


ZEOLITI: PROPRIETÀ

- Elevato grado di idratazione.
- Bassa densità e grande volume delle cavità quando disidratate.
- Stabilità della struttura cristallina anche nello stato disidratato.
- Canali regolari con dimensioni molecolari.
- Capacità di assorbire gas e vapori.
- Proprietà catalitiche.

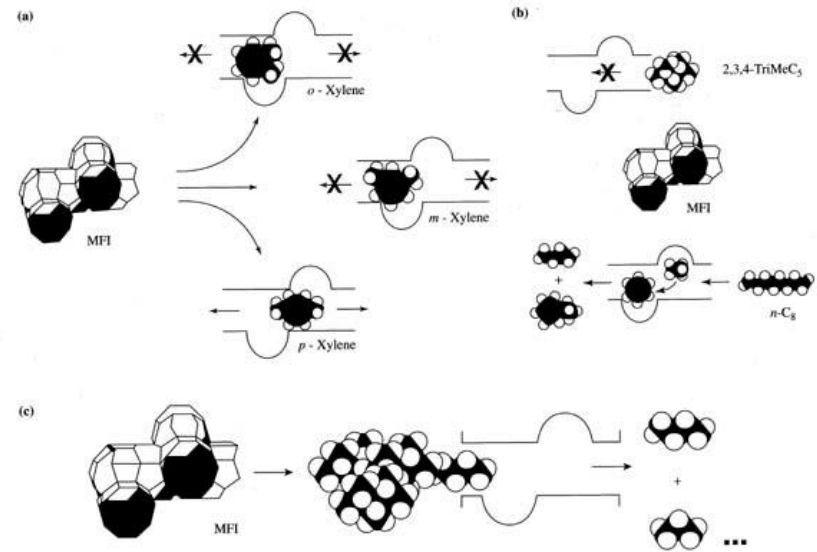
ZEOLITI: APPLICAZIONI

- **Essiccamento.** La struttura può facilmente reidratarsi per immersione in H_2O o per assorbimento di vapore acqueo.
- **Scambio cationico.** I cationi Na^+ , K^+ e Ca^{2+} sono legati debolmente all'impalcatura tetraedrica e possono essere facilmente rimossi e scambiati da ioni in soluzione (Es. addolcitori di acqua dura, ovvero con alte concentrazioni di Ca^{2+} , o rimozioni di ioni pericolosi da scorie radioattive).



ZEOLITI: APPLICAZIONI

- **Setacci molecolari.** Le molecole troppo grosse per passare attraverso i canali sono escluse (es. un diametro dei canali di 4.5 Å può essere attraversato solo dal n-ottano, un idrocarburo lineare (con diametro di 4.3 Å), e non da isottani ramificati (diametro \approx 5 Å).

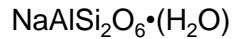


Tectosilicati

ZEOLITI



Analcime

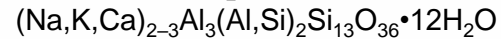


Equidimensionale

(Sistema cubico)



Clinoptilolite



Tabulare

(Sistema monoclino)



Mordenite



Fibrosa

(Sistema ortorombico)

Tectosilicati

Analcime $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot (\text{H}_2\text{O})$



Cubico, cristalli equidimensionali

Tectosilicati

Chabasite $(Ca,K_2,Na_2)_2[Al_2Si_4O_{12}]_2 \cdot 12H_2O$



Triclina, aggregati pseudoromboedrici in vacui di rocce vulcaniche

Mineralogia e Petrografia per i Beni Culturali

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

dbc
DIPARTIMENTO
DEI BENI CULTURALI
ARCHEOLOGIA, STORIA
DELL'ARTE, DEL CINEMA
E DELLA MUSICA



DIPARTIMENTO
DI GEOSCIENZE

CIRCe

Centro Interdipartimentale di Ricerca
per lo Studio dei Materiali Cementizi
e dei Leganti Idraulici

CIBA CENTRO PER I
BENI CULTURALI

DIAGNOSTICA . RILIEVO . TECNOLOGIE