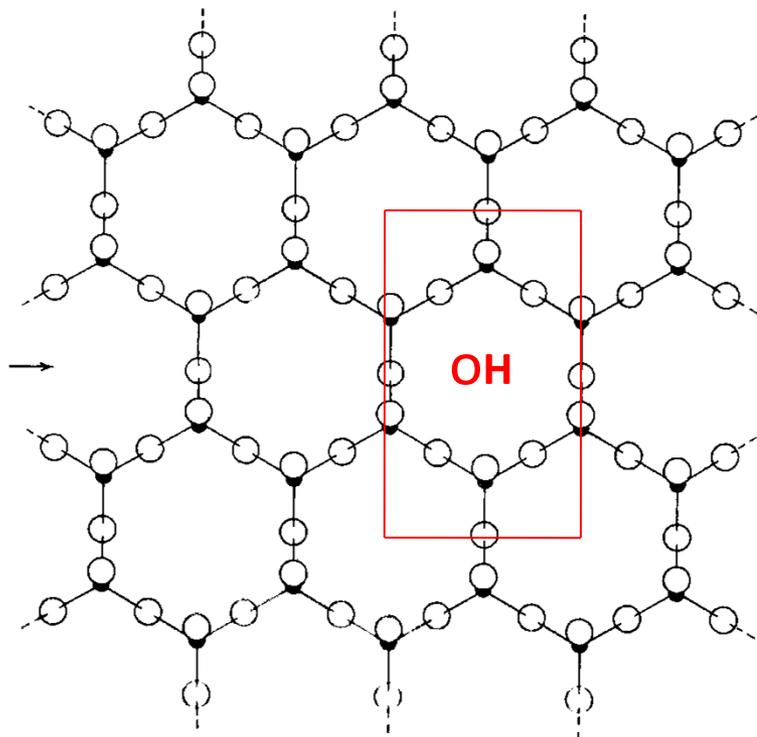


# Fillosilicati

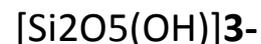
da φύλλον = foglia



## Silicati a fogli di tetraedri

I tetraedri sono legati tra di loro in modo da formare fogli che si estendono all'infinito nel piano. Al centro degli anelli esagonali, alla stessa quota degli O apicali, ci sono gruppi OH- .

Formula dell'unità strutturale (in figura)



In genere si prende la formula doppia



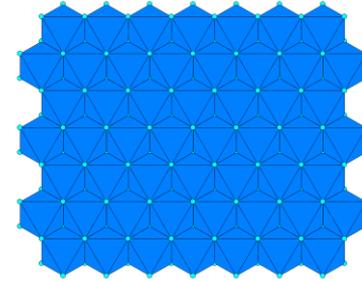
La simmetria esagonale dello strato può essere abbassata dal modo con cui si sistemano i cationi e gli altri strati. Solo cationi con n.° di coordinazione 6 (ottaedrica) possono legarsi agli ioni O apicali e agli OH.

Questa struttura giustifica la simmetria, l'abito lamellare e la perfetta sfaldatura basale dei fillosilicati.

Allo strato tetraedrico (T) si sovrappone  
uno strato ottaedrico (O) che può essere:

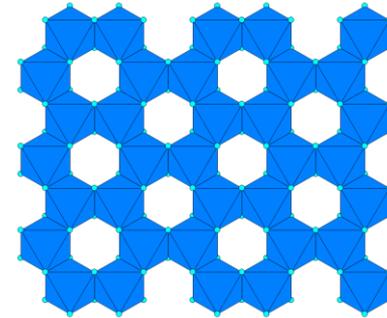
triottaedrico - o brucitico

tipo brucite  $Mg(OH)_2$  → catione bivalente



diottaedrico - o gibbsitico

tipo gibbsite  $Al(OH)_3$  → catione trivalente



Si forma così un foglietto. I fillosilicati sono costituiti da foglietti a due o più strati:

A due strati T- O : caolinite, minerali del serpentino

A tre strati T- O -T : talco, pirofillite

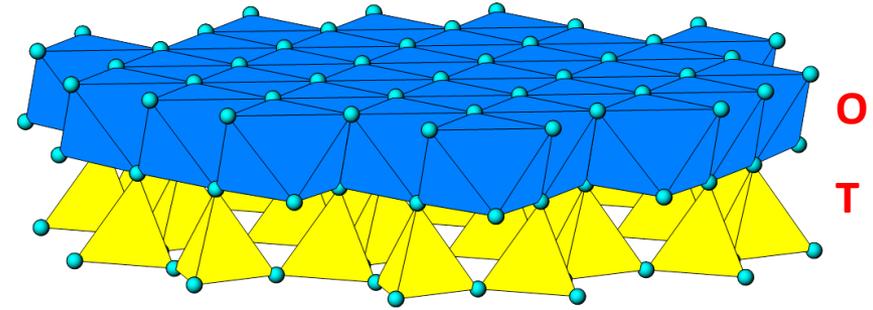
A tre strati T- O -T con cationi interstrato: mica muscovite, mica biotite, minerali argillosi

A quattro strati T- O -T + O : cloriti

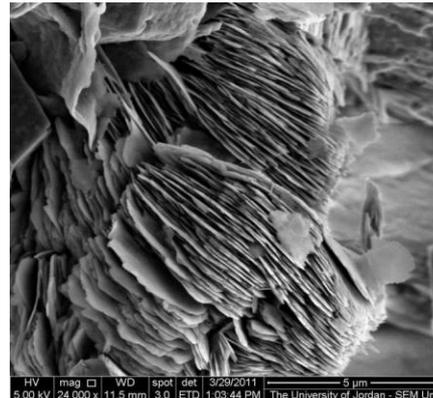
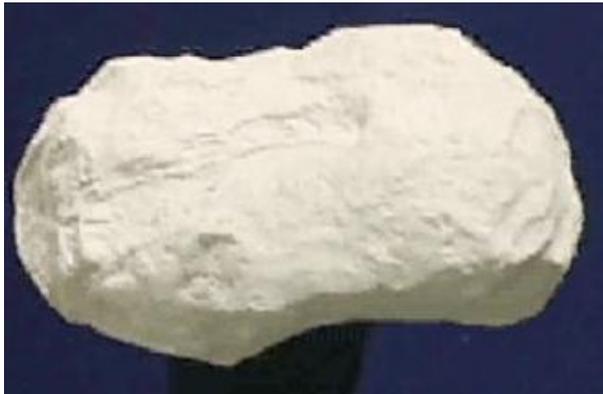
# 1. Fillosilicati a due strati T-O

**Caolinite**  $Al_4(OH)_6[Si_4O_{10}(OH)_2]$  triclina

Struttura: uno strato di tetraedri  $SiO_4$  sovrastato da uno strato diottaedrico  $AlO_2(OH)_4$   
I foglietti T-O si sovrappongono, tenuti insieme da legami idrogeno: sfaldatura molto facile



Placchette microscopiche pseudoesagonali, aggregate in masse compatte di tipo argilloso.  
Durezza 2-2.5, untuosa al tatto. Da alterazione idrotermale o superficiale di feldspati potassici.  
Componente principale del **caolino**, formazione sedimentaria, usato in più industrie: ceramica, cartaria, edilizia, farmaceutica.



al microscopio elettronico

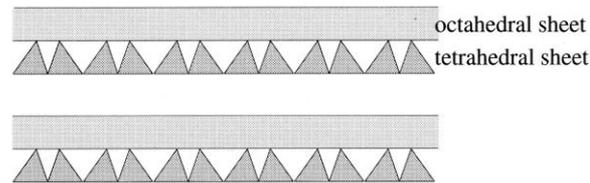
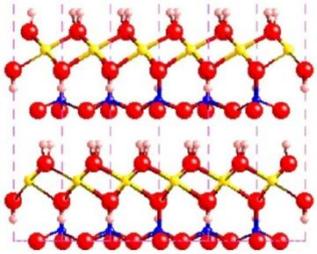
**Dickite, nacrite**: politipi monoclini della caolinite, che differiscono per impilamento dei foglietti T-O

## Gruppo del Serpentino $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$ : Lizardite, Antigorite, Crisotilo

Minerali comuni e diffusi. I tre polimorfi differenziano per la configurazione dei foglietti T-O, in quanto lo strato O ha dimensioni laterali maggiori dello strato T. Esistono anche politipi di ciascun termine.

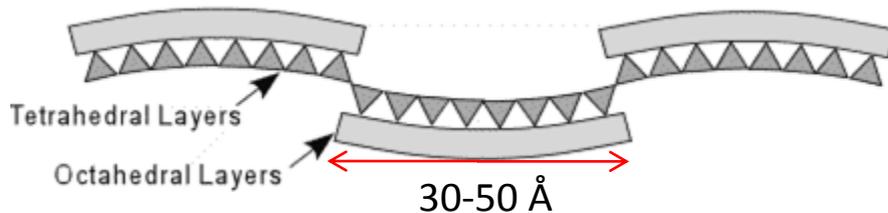
**Lizardite** monoclina, massiva, in vene, grana fine

Disposizione planare del foglietto T-O: ottenuta per sostituzione Al-Si nello strato T.



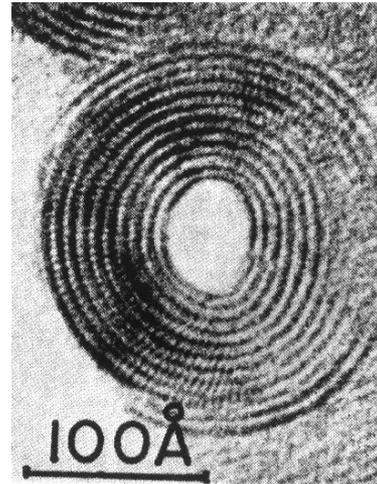
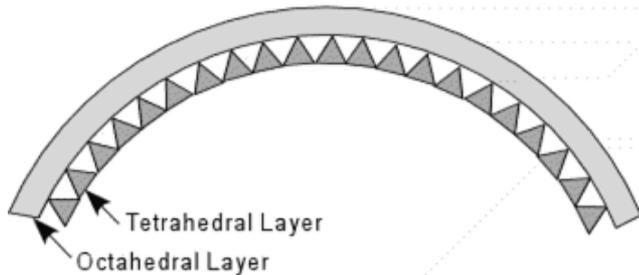
**Antigorite** monoclina, lamellare, massiva, verde scuro

Disposizione ondulata dei foglietti, lo strato O è sempre esterno



**Crisotilo** monocino, ortorombico, fibroso

Disposizione arrotolata dei foglietti T-O su se stessi fino ad anelli concentrici: la curvatura imposta dallo strato O non è compensata come in lizardite e antigorite. Il che spiega il carattere fibroso.



Fibra di crisotilo  
vista al microscopio  
elettronico (SEM)

Colore verde, lucentezza sericea

Uso: componente principale (90-95%) dell'asbesto commerciale. Vaste applicazioni, ora vietate (nocivo se inalato)

Genesi. I minerali del serpentino si formano per alterazione di olivine e pirosseni femici di rocce ultrabasiche

## 2. Fillosilicati a tre strati T-O-T

**Talco**  $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$  monocino  $2/m$

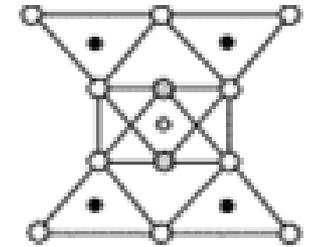
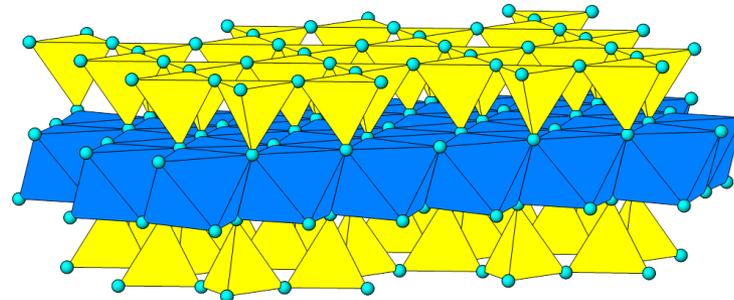
Struttura:

due strati tetraedrici ribaltati a sandwich su uno triottaedrico di  $\text{MgO}_3(\text{OH})_3$

Tra foglietto e foglietto legami di van der Waals →

durezza 1

facilissima sfaldatura basale



In masse compatte, colore verde pallido, traslucido.

Minerale metamorfico (alterazione idrotermale di rocce ultrabasiche ricche di magnesio → *steatite*).

Resistente al calore, agli acidi, bassa conducibilità termica ed elettrica.

Numerose applicazioni industriali: refrattario, lubrificante, riempitivo, ...



### 3. Fillosilicati T- O -T con cationi interstrato → Gruppo delle **MICHE**

Catione interstrato →  $K^+$ , più raramente  $Na^+$  e  $Ca^{2+}$ , dovuto alla sostituzione di  $Si^{4+}$  con  $Al^{3+}$

Numerosi politipi di varia simmetria (più comuni 2/m).

Facile sfaldatura basale (001). Laminette pseudoesagonali, elastiche.

Facili vicarianze:  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Li^+$ ,  $Ti^{4+}$  nello strato triottaedrico

$Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Mn^{3+}$ ,  $V^{3+}$  nello strato diottaedrico

Pertanto le miche → piuttosto soluzioni solide

Costituenti essenziali di varie rocce (igneo, metamorfiche, sedimentarie)

**Muscovite o mica chiara** (diottaedrica)  **$KAl_2[AlSi_3O_{10}(OH)_2]$**  monoclina

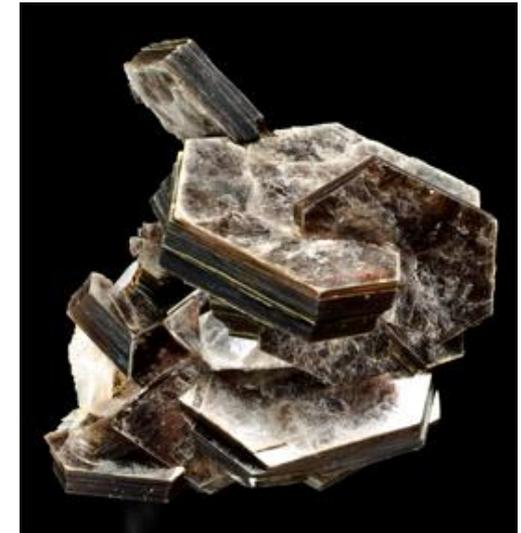
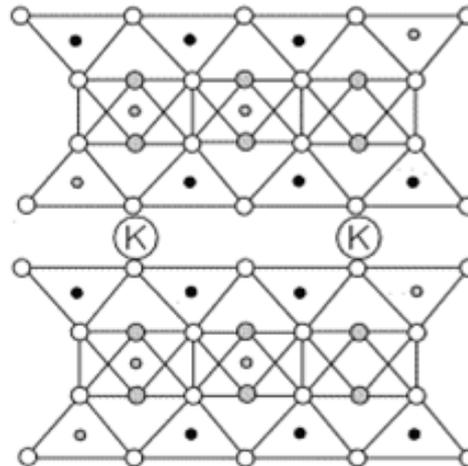
2/m

Nella stessa struttura:

$Al^{3+}$  in coordinazione 4 e 6.

In pegmatiti acide, graniti, micascisti, gneiss, sedimenti detritici (la muscovite è poco alterabile).

Usi: industria elettrica per condensatori, isolante, ecc.



**Biotite o mica scura** (triottaedrica)  $K(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH)_2$  monoclina

2/m

Colore: tende al verde scuro, bruno e nero all'aumentare di Fe.

In numerose rocce eruttive (graniti, sieniti, dioriti), importante costituente di rocce metamorfiche (scisti, ...).

Facilmente alterabile in clorite (ossidazione di  $Fe^{2+}$ !).

Il termine ricco di Mg (flogopite) è preferito per le sue qualità alla muscovite nelle applicazioni elettriche.



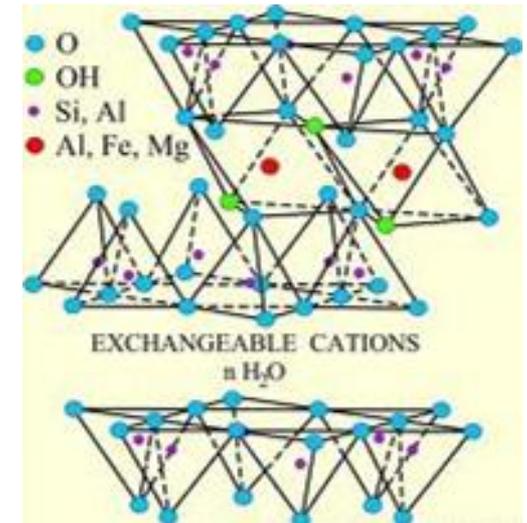
## Gruppo dei Minerali argillosi

- a due strati – caolinite
- a più strati con acqua intercalata : T- O - T + n H<sub>2</sub>O + K+  
montmorillonite (diottaedrica)  
vermiculite (triottaedrica, simile al talco)  
illite (simile alla muscovite)

Presenza di un numero variabile di molecole di H<sub>2</sub>O tra gli strati (con espandibilità dei foglietti) e di cationi scambiabili tra foglietto e foglietto (potere di scambio ionico)

Importanti minerali sedimentari, caratterizzati da grana molto fine, altamente plastici, costituenti delle **argille** → formazione contenente più minerali.

Grande importanza pedologica e industriale.



montmorillonite

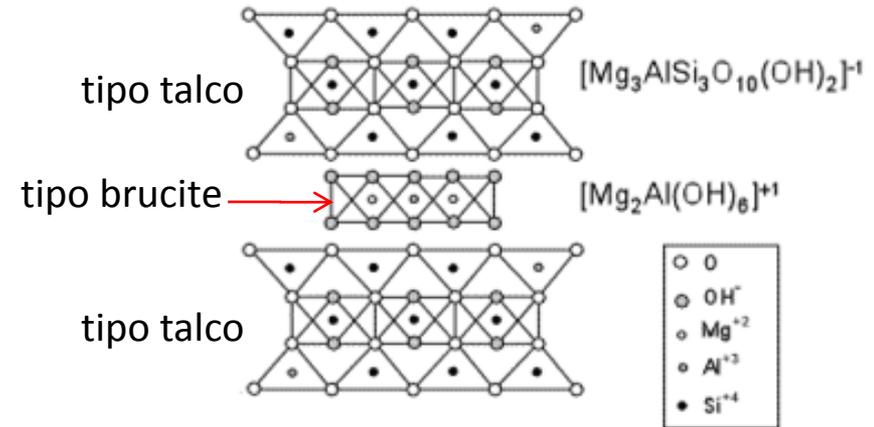
## 4. Fillosilicati a 4 strati T-O-T + O

**Gruppo delle Cloriti**  $Y_6[(Si, Al)_4O_{10}](OH)_8$  in genere monocline  $2/m$   
 $Y = Mg^{2+}, Al^{3+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}, Ni^{2+}, Mn^{3+}$

Minerali a strati misti, formato da successione di strati strutturalmente tipo talco e tipo brucite  
Sono note specie diverse, ma la distinzione è piuttosto arbitraria (penninite, clinocloro,...).

Abito lamellare e/o tabulare (pseudo-esagonale),  
aggregati a scaglie  
Sfaldabile in lamine flessibili, plastiche  
Colore verde (di qui il nome)

In rocce metamorfiche di basso grado (scisti verdi), in rocce ignee (alterazione idrotermale di minerali di Fe e Mg), in sedimenti



# Tectosilicati

da τεκτον = architettura

Silicati ad impalcatura tridimensionale di tetraedri, tutti collegati tra di loro per i vertici.

Gruppi di minerali: silice, feldspati, feldspatoidi, zeoliti

Gruppo della silice **SiO<sub>2</sub>** - il più semplice tectosilicato

Numerosi polimorfi

Fasi stabili:

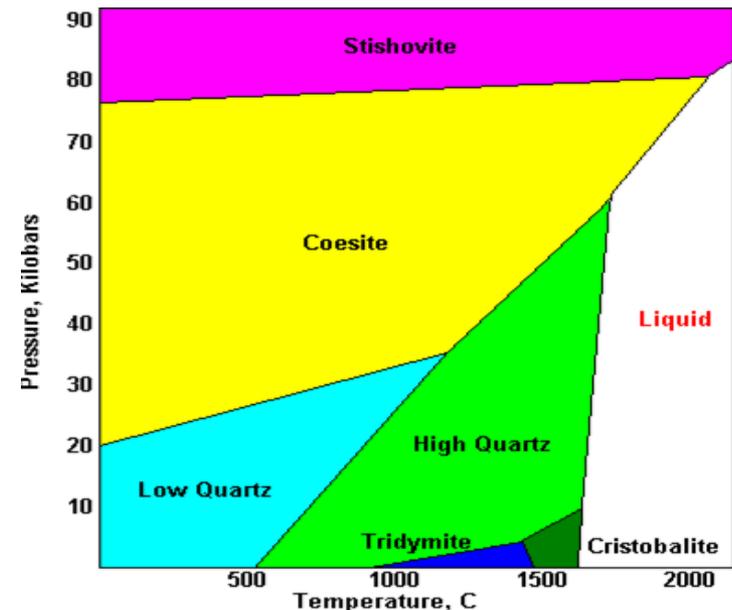
quarzo  $\alpha$ , quarzo  $\beta$ , tridimite  $\beta$ , cristobalite  $\beta$ ,  
coesite, stishovite

Fasi metastabili:

tridimite  $\alpha$ , cristobalite  $\alpha$

In tutte queste fasi il Si ha **coord. Tetraedrica (4)**,  
ma nella **stishovite coord. Ottaedrica (6)** a causa  
dell'elevatissima pressione

Una varietà amorfa, la **silice**



Queste fasi si distinguono per il modo con cui i tetraedri si collegano per formare il cristallo.

Di conseguenza cambiano la simmetria e le proprietà fisiche:

densità, durezza, indici di rifrazione, campo di stabilità.

## Quarzo $\alpha$ trigonale 32

Minerale molto comune e diffuso. Puro al 100%.  $D = 2.6 \text{ g/cm}^3$

Abito di solito prismatico con striature orizzontali. Cristalli destri e sinistri.

Frattura concoide. Durezza 7, ma fragile. Piezoelettrico.

Per lo più incolore, varietà diversamente colorate. Trasparente. Lucentezza vitrea

Usi: in edilizia, come fondente in metallurgia, per produzione di vetri, ceramiche, refrattari, abrasivo, riempitivo, per crogioli e capsule



quarzo ialino o cristallo di rocca, trasparente



quarzo affumicato



ametista



quarzo citrino



quarzo rosa

**Quarzo  $\beta$**  esagonale



**Cristobalite** tetragonale



**Tridimite** rombica



## Calcedonio

Termine generico → diverse varietà micro/criptocristalline fibrose di quarzo, con pori submicroscopici

Agata: struttura a bande colorate. Onice

Diaspro: opaco, rosso, bruno per inclusioni di ossidi di ferro

Legno fossile. Occhio di tigre: quarzo pseudomorfo di crocidolite

Selce: opaco, in noduli o masse, primo utensile per manufatti

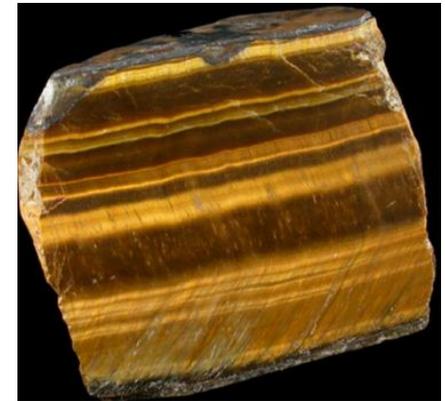
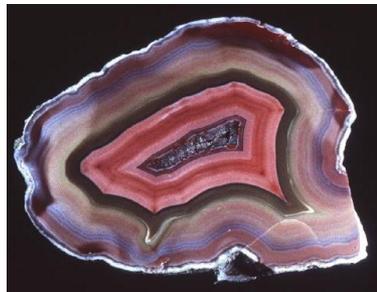
Corniola: rosso-bruna



corniola



agata



occhio di tigre

## Opale $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (acqua 3-20%)

In genere amorfo

Per deposito da soluzioni  
colloidal di silice a bassa T

Costituente di diatomee, radiolari

Varietà: diversamente colorate

*opale comune*, bianco latte, giallo

*opale di fuoco*, riflessi rosso-arancio

*opale xiloide*, legno fossilizzato

*ialite*, incolore

*geyserite*



Opale  
di fuoco



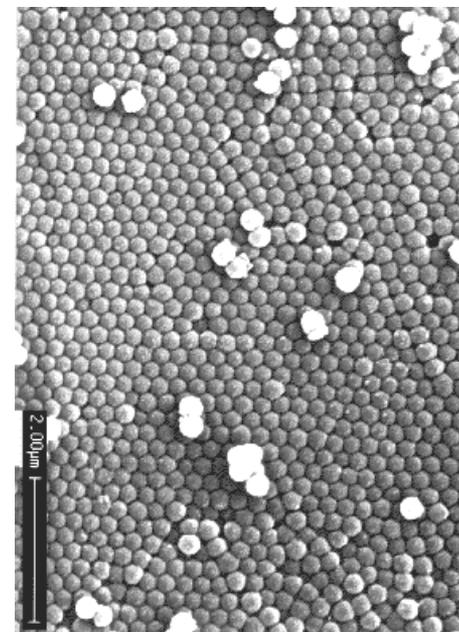
opale comune



Opale nobile

**Opale nobile**, varietà iridescente costituita da microsferette di silice del diametro di circa  $3000 \text{ \AA}$  disposte in assestamento esagonale compatto. La luce, con  $\lambda$  tra  $4000$  e  $7800 \text{ \AA}$ , incidendo sulla superficie subisce diffrazione, di qui l'iridescenza

→ usato come gemma



## Gruppo dei feldspati

Nei **tectosilicati** → **vicarianza Si<sup>4+</sup>- Al<sup>3+</sup>** (fino al 50%)

accompagnata da inserimento nella struttura di ioni di grosse dimensioni ( $r \geq 1 \text{ \AA}$ ):  
K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>

che impongono la simmetria: monoclina i più grossi (K, Ba), triclina i più piccoli (Na, Ca)

Ecco gli **importantissimi** allumino-silicati (con il simbolo e tra parentesi la classe cristallina):

**K<sup>+</sup>[AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]** Or **sanidino** (2/m), **ortoclasio** (2/m), **microclino** (-1)

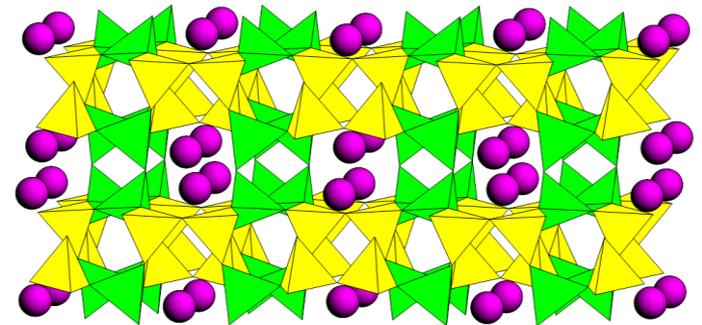
**Na<sup>+</sup>[AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]** Ab **albite** (-1)

**Ca<sup>2+</sup>[Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>]** An **anortite** (-1)

### Modello di struttura

Tutti gli atomi di O dei tetraedri sono condivisi in modo da formare un reticolato tridimensionale di legami.

I cationi (Na, K, Ca, Ba) si sistemano negli ampi interstizi della struttura e sono coordinati dagli atomi di O.



Vediamo brevemente i singoli termini

**K[AlSi3O8]** esiste in tre fasi sanidino , ortoclasio , microclino



**Sanidino** monocino 2/m  
Cristalli tabulari.  
Fase di alta T. In rocce vulcaniche



**Ortoclasio** monocino 2/m  
Cristalli prismatici tozzi.  
Fase di media T. In rocce eruttive acide  
(graniti, .., pegmatiti)



**Microclino**  
Triclino -1  
fase di bassa T  
In pegmatiti, vene  
idrotermali, rocce  
metamorfiche.  
**Amazzonite**, varietà  
verde



## K [AlSi3O8] Or e Na[AlSi3O8] Ab → feldspati alcalini

Formano soluzioni solide complete solo ad alte temperature.

A circa  $T < 660^\circ\text{C}$  la reciproca solubilità diminuisce

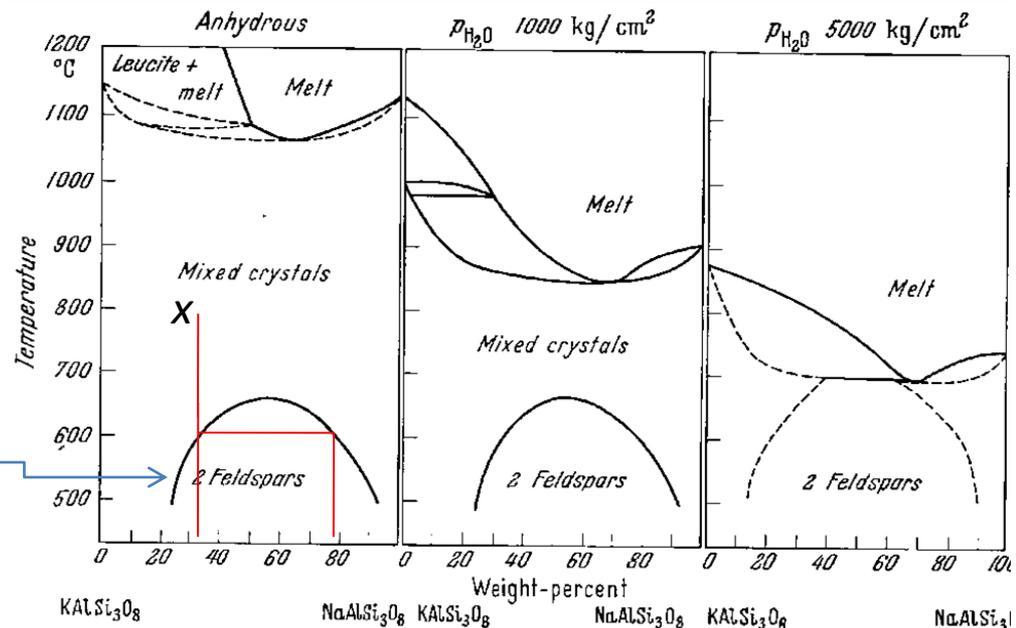
→ smescolamento (separazione) della soluzione solida in due feldspati.

Diagramma di stato del sistema Or-Ab in condizioni anidre (a sinistra) e in presenza di vapor acqueo a due diverse pressioni (a destra).

La presenza di vapore acqueo abbassa notevolmente i campi di esistenza delle fasi, ma sembra non influenzare la curva di smescolamento.

Curva di smescolamento:

dalla fase unica  $x$  si separano a  $600^\circ\text{C}$  circa due fasi: una più ricca di K, l'altra di Na. Entrambi sono soluzioni solide.

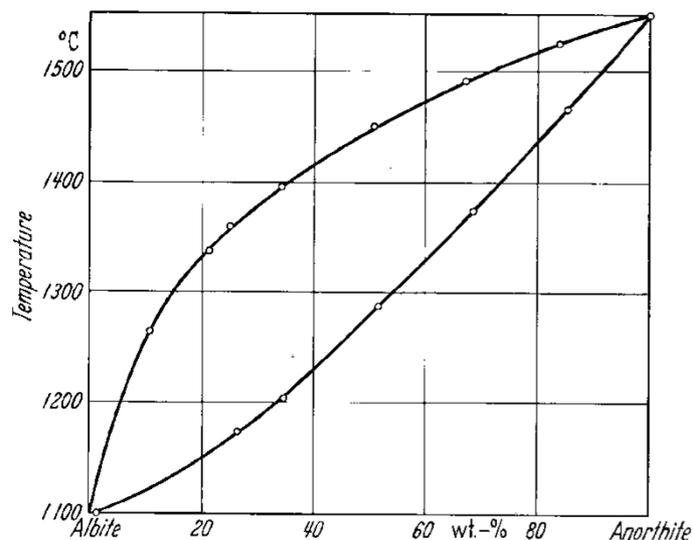


Usi: nell'industria ceramica (produzione di gres, porcellana), come fondente.  
L'amazonite in ornamentazione e come gemma.

**Na[AlSi3O8] Ab e Ca[Al2Si2O8] An**

**→ plagioclasì sodico-calcici**

Serie isomorfa caratterizzata da solubilità completa allo stato solido.



I vari termini assumono nomi diverse in funzione del contenuto in albite (o anortite):

Albite	100-90 % di Ab
Oligoclasio	90-70
Andesina	70-50
Labradorite	50-30
Bytownite	30-10
Anortite	10- 0

I più abbondanti componenti presenti in tutti i tipi di rocce – meno frequenti nelle sedimentarie.

L'albite è comune anche in pegmatiti, l'anortite è la più rara.

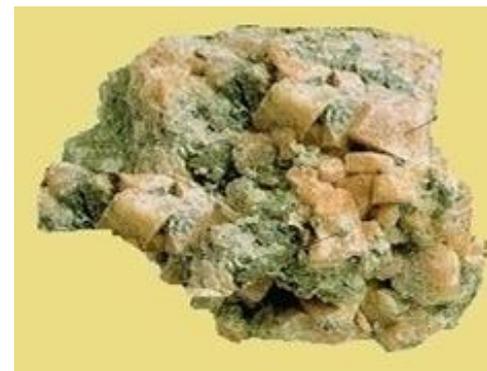
Cristalli tabulari, spesso gemmati. Incolori, bianchi, grigi, anche



Pietra della luna, varietà opalescente di Ab e oligoclasio



Ab



An



Labradorite, iridescente per finissime lamelle parallele alla sfaldatura {010}

## Feldspati alcalini e Plagioclasti sodico-calcici

sono in relazione di isomorfismo per le vicarianze Si-Al, Na-Ca, Na-K.

Le relazioni tra i tre componenti a  $T \approx 800^\circ\text{C}$  è rappresentata nel diagramma ternario

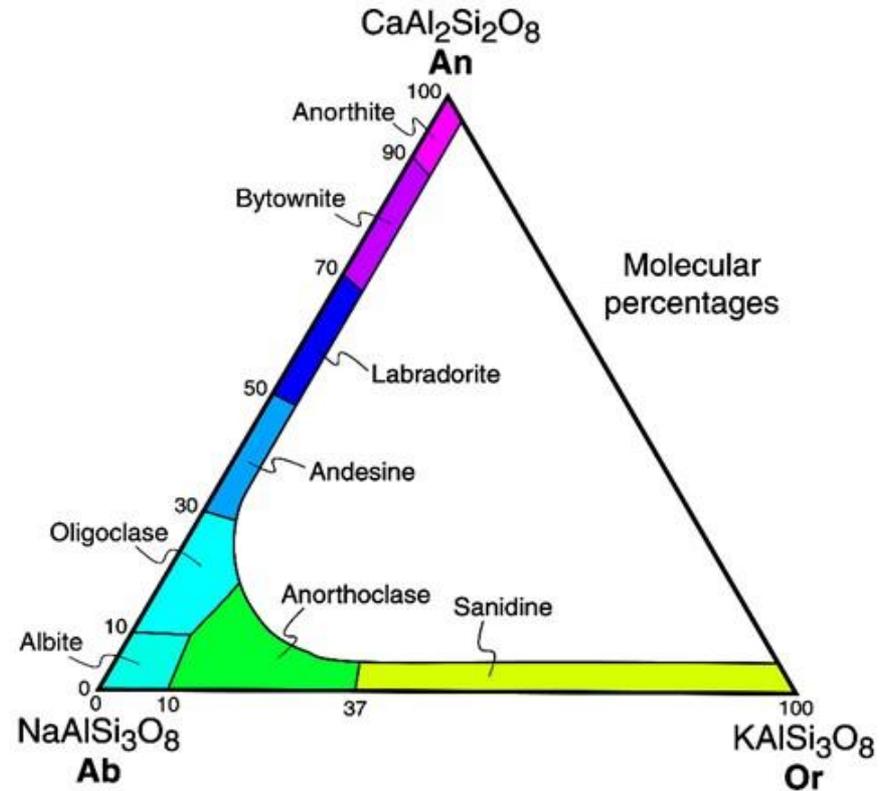
An-Ab-Or:

soluzione solida completa tra An e Ab,  
soluzione solida completa tra Ab e Or,  
soluzione solida molto limitata tra Or e An

Ogni fase contiene sempre tre cationi (Ca, Na, K) in rapporti diversi, ed è un plagioclasio sodico-calcico o un feldspato alcalino.

La vicarianza diminuisce con la T.

Un punto dello spazio bianco corrisponde alla coesistenza di due fasi: un feldspato alcalino e un plagioclasio.



**Questi silicati sono i più abbondanti e diffusi minerali della crosta terrestre, costituenti essenziali di numerose, importantissime rocce.**

## Altri tectosilicati: i **feldspatoidi**

così detti perché sostituiscono i feldspati in rocce povere di silice  
Alta simmetria (cubici o esagonali). Bassa densità. Facilmente attaccati da acidi.

**Leucite**  $K[AlSi_2O_6]$

**Nefelina**  $Na[AlSiO_4]$

**Sodalite**  $Na_8[AlSiO_4]_6Cl_2$



### **Leucite** $K[AlSi_2O_6]$

cubica a  $T > 625^\circ C$ , tetragonale  $< 625^\circ$

Comuni i cristalli icositetraedrici (= leucitoedro)

Bianco latte – grigia



### **Nefelina** $Na_3(Na,K)[Al_4Si_4O_{16}]$ esagonale

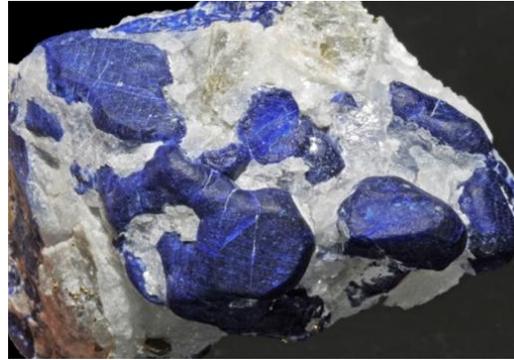
Rari cristalli prismatici. Granulare, massiva.

Incolore, bianca.

In sieniti (rocce eruttive) nefeliniche

**Sodalite**  $\text{Na}_8[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}]\text{Cl}_2$  cubica -43m

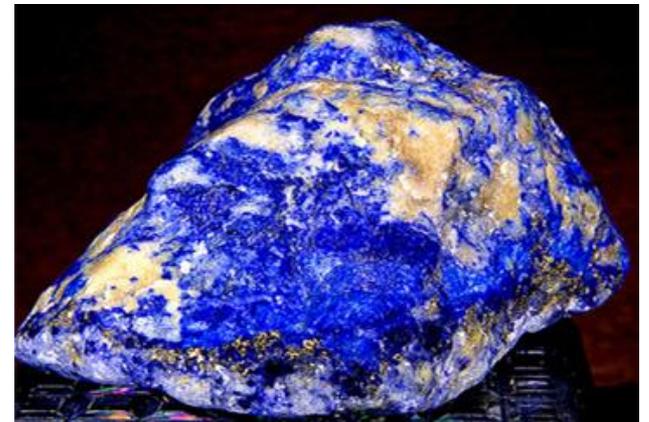
Rari cristalli rombododecaedrici,  
massiva, in granuli.  
Colore blu, anche bianco, grigio.  
Nella struttura presenti larghe cavità  
occupate da ioni  $\text{Cl}^-$ .  
In sieniti nefeliniche, trachiti  
Uso: ornamentale



Gruppo della sodalite:

**Lazurite**  $(\text{Na,Ca})_8[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}](\text{SO}_4,\text{S,Cl})_2$  cubica -43m

Colore blu intenso. Stessa struttura della sodalite. Nelle grandi cavità gli anioni  $\text{SO}_4, \text{S}, \text{Cl}$ . Minerale raro metamorfico. Componente del **lapislazzuli** insieme con calcite, pirite e altri minerali. Usi: gemma, pietra ornamentale.



## Altri tectosilicati: **zeoliti**

Sono allumino-silicati idrati di metalli alcalini (Na, K) e alcalino-terrosi (Ca, Ba, Sr, Mg).

I tetraedri [(Al, Si)O<sub>4</sub>] formano una struttura tridimensionale aperta con ampi canali in cui trovano posto i cationi e le molecole d'acqua.

L'acqua, debolmente legata ("acqua zeolitica"), è facilmente espulsa per riscaldamento senza che l'impalcatura sia modificata. La zeolite disidratata può riassorbire l'acqua, anche molecole di gas (H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CCl<sub>4</sub>, Ar, Ne, Xe, ecc.) – di qui l'uso delle zeoliti come "setacci molecolari" per separare miscugli di gas.

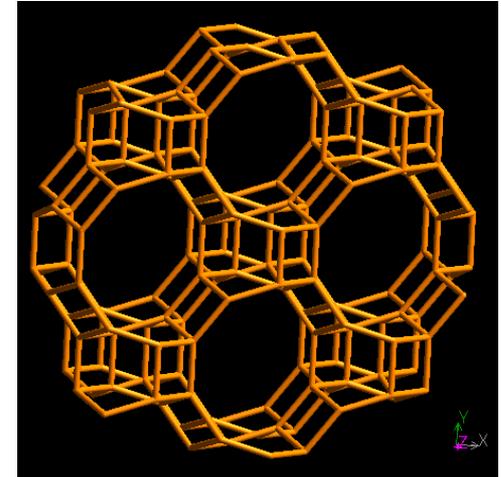
I cationi, legati alle molecole d'acqua e ai tetraedri, possono essere facilmente scambiati: immergendo una zeolite di Na in un'acqua dura (ricca di ioni Ca), avviene lo scambio  $\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$ , con addolcimento dell'acqua.

Completamente disidratate, le zeoliti offrono una enorme superficie interna su cui si fanno avvenire reazioni di *cracking* degli idrocarburi: attività catalitica.

Bassa densità (1.9-2.4), bassi indici di rifrazione (1.47-1.55)

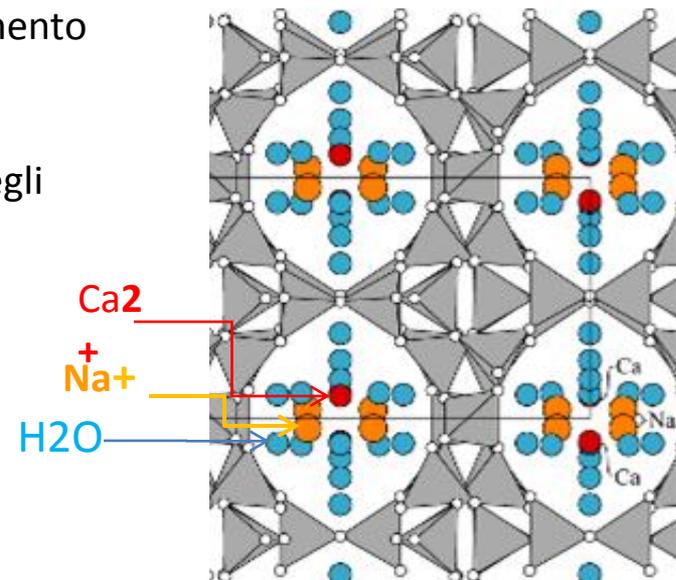
Genesis. Da ambiente ricco d'acqua, a T e P basse, per alterazione di feldspati e feldspatoidi. In rocce vulcaniche e metamorfiche.

Sono note almeno 25 specie.



Struttura di una zeolite.

Sono indicati solo gli atomi di Si e di Al (atomi di ossigeno omessi).



Si distinguono tre famiglie di zeoliti:

### 1. Zeoliti fibrose

**Natrolite**  $\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ortorombica

I tetraedri  $\text{SiO}_4$ -  $\text{AlO}_4$  formano catene parallele, legate lateralmente, per cui cristalli spesso aciculari, per lo più raggiati. Incolore, bianco. In cavità basaltiche



### 2. Zeoliti lamellari

**Heulandite**  $(\text{Ca},\text{Na})_2[\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}]\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  monoclina

Cristalli prismatici pseudorombici, tabulari. Sfaldatura perfetta. Incolore, bianca, rossiccia. In cavità di rocce basiche



**Stilbite**  $(\text{Ca},\text{Na}_2,\text{K}_2)[\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}]\cdot 7\text{H}_2\text{O}$  monoclina

Cristalli tabulari, aggregati fascicolati. Colore bianco. Lucentezza perlacea. In cavità di basalti.



### 3. Zeoliti isometriche

**Cabasite**  $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  trigonale

Cristalli romboedrici, spesso geminati. Con altre zeoliti in cavità basaltiche. Nella struttura grandi canali (diametro  $3.9\text{\AA}$ )  $\rightarrow$  può funzionare da setaccio molecolare (trattiene le molecole più grosse).



**Faujasite**  $\text{Na}_2\text{Ca} [\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$   
cubica

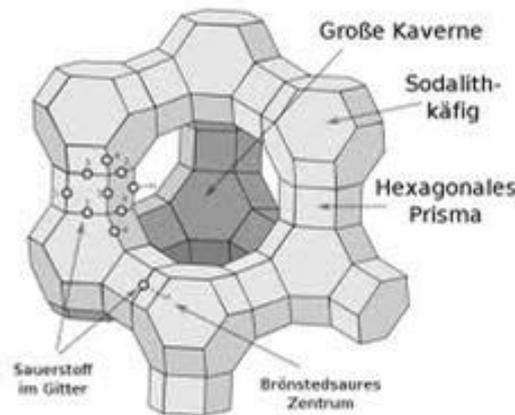
Cristalli ottaedrici. In cavità vescicolari di basalti e lave con altre zeoliti.

Nella struttura: grossi canali perpendicolari (diametro  $7.4\text{\AA}$ ) e una “supergabbia” interna (diametro  $12\text{\AA}$ ). Oggi le faujasiti, come altre zeoliti, per le necessità industriali sono

sintetizzate in grandi quantità.

**Zeoliti sintetiche:** preparate appositamente per le loro proprietà, dovute ai larghi canali interni.

Usi molteplici: come setacci molecolari, agenti disidratanti e assorbenti, scambiatori ionici, catalizzatori (cracking del petrolio)



Termina qui la rassegna dei minerali che aveva lo scopo di introdurre all'affascinante mondo dei minerali e delle loro forme cristallizzate.

Ci sarebbe ancora molto da dire su minerali e cristalli. Anzi, di qui può partire lo spunto per ricerche e approfondimenti:

1. Minerali radioattivi
2. Minerali come pietre preziose
3. Minerali per l'edilizia
4. Minerali per la siderurgia
5. Minerali per l'elettronica
6. Minerali e salute
7. Minerali e vita (biomineralogia)
8. Minerali per l'arte
9. Minerali e cultura
10. Minerali extraterrestri
11. Minerali e religione
12. Genesi e metodi di sintesi di minerali e cristalli
13. ....
14. e infine per chi colleziona anche francobolli → lo splendido volume *"I minerali nei francobolli"* a cura della Soc. Ital. di Miner. e Petrol., Felici Editore, Pisa, 1998

## Alcuni testi di mineralogia

Altaba M.F., Tanelli G. (1993) - *Mineralogia*. Atlanti Scientifici Giunti. GGE Firenze.

Baronnet A. (1992) – *Mineralogia*. Hoepli, Milano.

Berry L.G., Mason B., Dietrich R.V. (1983) - *Mineralogy*, 2°ed., W.H. Freeman Company, USA.

Bloss F.D. (1971) - *Crystallography and Crystal Chemistry. An Introduction*. Holt, Rinehart, Winston, USA.

Bonatti S., Franzini M. (1984) - *Cristallografia Mineralogica*. Bollatti Boringhieri, Torino.

Borchardt-Ott W. (1995) - *Crystallography*, II ed., Springer, Germania.

Cipriani C., Garavelli C. (1987) - Carobbi: *Cristallografia Chimica e Mineralogia Speciale*. USES Ediz. Scient. Firenze.

Đud'a R., Rejl L. (1986) – *Minerals of the World*. Spring Books.

Gottardi G. (1982) - *I Minerali*. Boringhieri, Torino.

Hurlbut C.S., Klein C. (1977) - *Manual of Mineralogy* (after J. D. Dana), 19° ed., John Wiley & Sons, USA.

Johnsen O., *Guida ai minerali del mondo*. Zanichelli, 2006.

Klein C. (2004) – *Mineralogia*. Zanichelli, Bologna

Mottana A., Crespi R., Liborio G. (1998) - *Minerali e Rocce*. Mondadori.

Mazzi F., Bernardini G.B. (1994) - Carobbi: *Fondamenti di Cristallografia e Ottica Cristallografica*. USES Firenze.

Nesse W. D. (2000) - *Introduction to Mineralogy*. Oxford University Press, USA.

C. Palache, H. Berman, C. Frondel (1963) - *The System of Mineralogy*, New York.

Tarbut E.J., Lutgens F.K., Tase D. (1999) - *Earth. An Introduction to Physical Geology*. 6° ed., Prentice Hall.