

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

Proprietà fisiche dei minerali osservabili a scala macroscopica

Proprietà definibili mediante esame visuale

- Abito cristallino
- Concrescimenti, geminazioni e striature
 - Colore, lucentezza e trasparenza
 - Colore della polvere (striscio)

Proprietà fisiche dei minerali osservabili a scala macroscopica

Proprietà che richiedono strumenti di verifica specifici

SCALARI (non dipendenti dalla direzione e definite da un numero)

- Densità e peso specifico
 - Radioattività
 - Solubilità in HCl
 - Punto di fusione

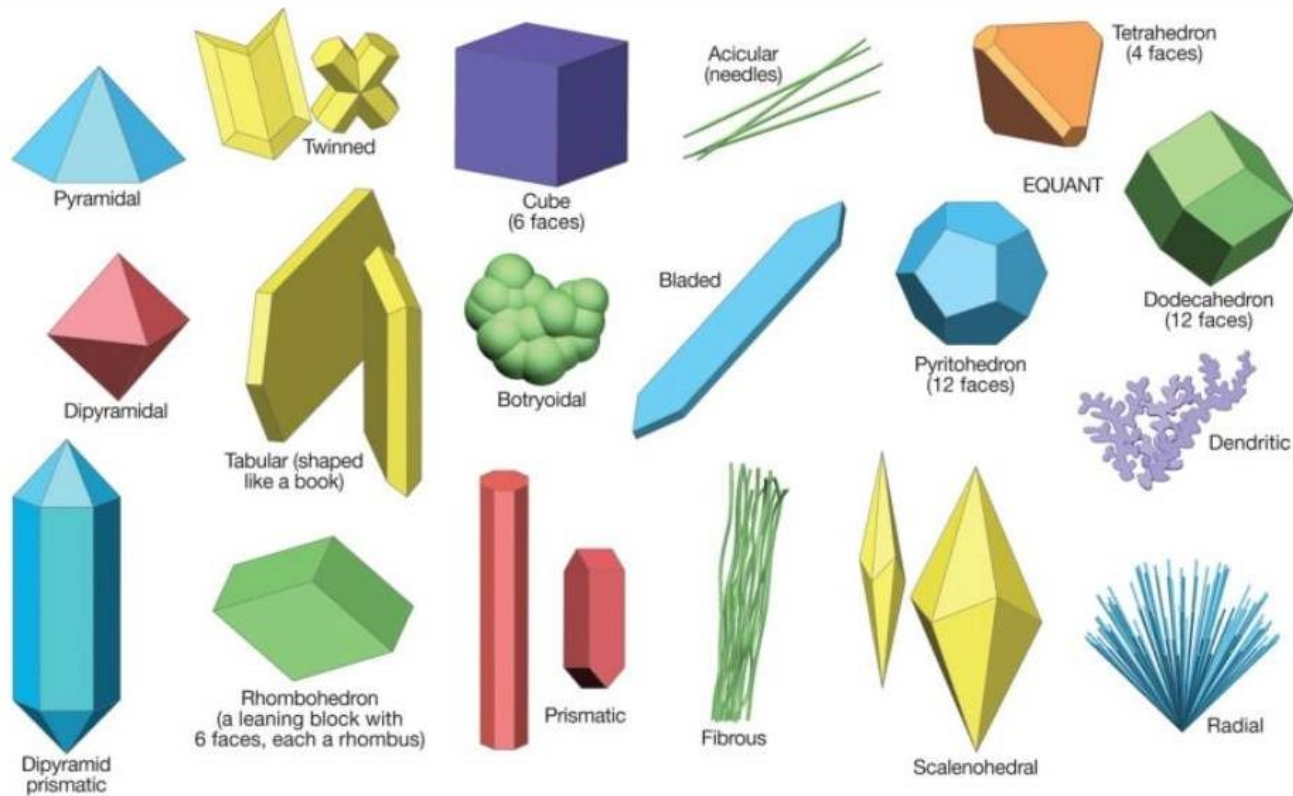
VETTORIALI (dipendenti dalla direzione e definite da un vettore)

- Durezza
- Sfaldatura e frattura
 - Magnetismo
 - Piezoelettricità

Proprietà fisiche dei minerali

ABITO CRISTALLINO

Il termine abito cristallino (o Habitus) è usato in cristallografia e mineralogia per indicare l'aspetto complessivo di un cristallo. Esso dipende sia dalle caratteristiche intrinseche del minerale come la simmetria del reticolo cristallino che dalle condizioni presenti durante il suo accrescimento.

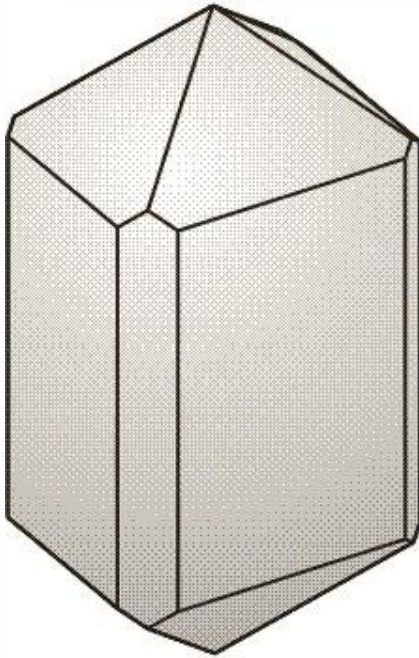


Proprietà fisiche dei minerali

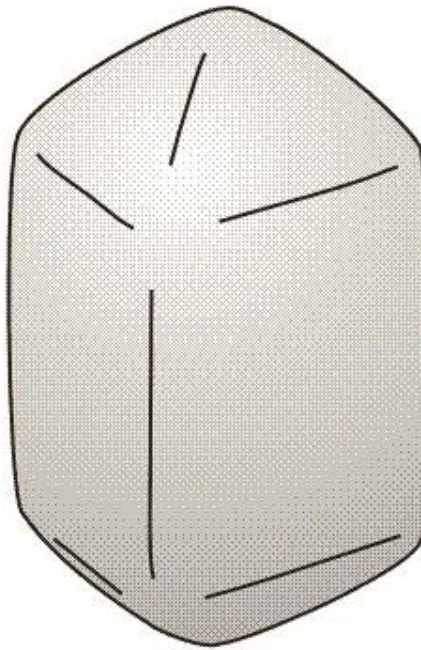
ABITO CRISTALLINO

Qualità di sviluppo delle facce

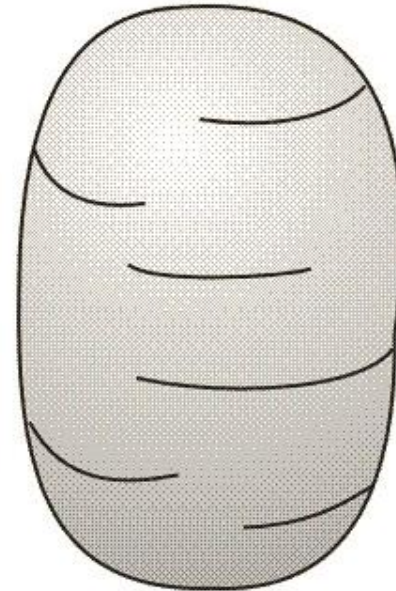
- Euedrale: cristalli ben sviluppati, tutte le facce presenti
 - Subedrale: cristalli con solo alcune facce
 - Anedrale: minerale senza facce regolari



EUHEDRAL



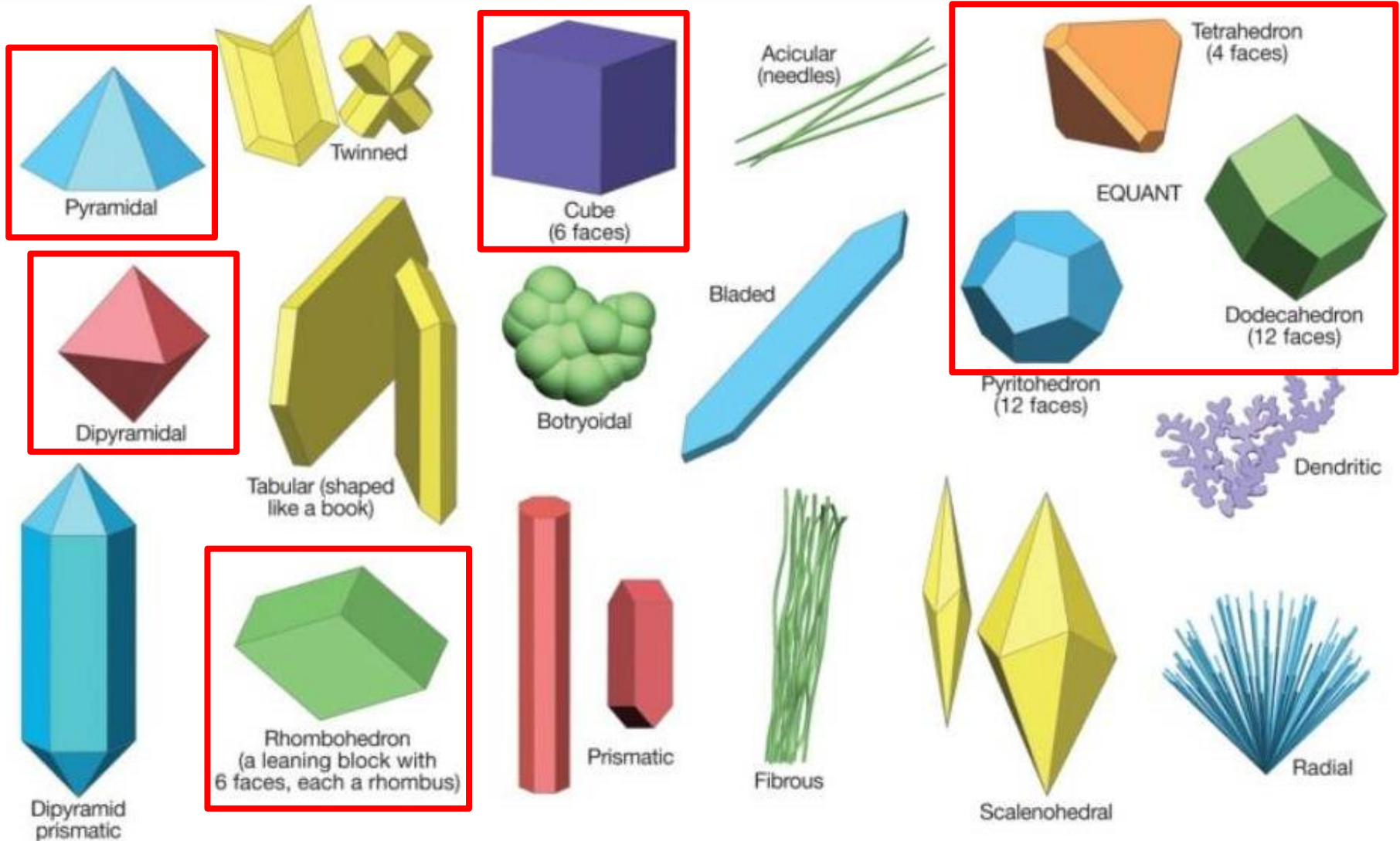
SUBHEDRAL



ANHEDRAL

Proprietà fisiche dei minerali

CRISTALLI EUEDRALI: ABITO CRISTALLINO = FORMA CRISTALLINA



ABITO CRISTALLINO

Termini per descrivere l'abito

Isodiametrico, prismatico, a lama, aciculare, fibroso, tabulare, lamellare, filiforme, dendritico, raggiato, globulare, colloforme, massivo...

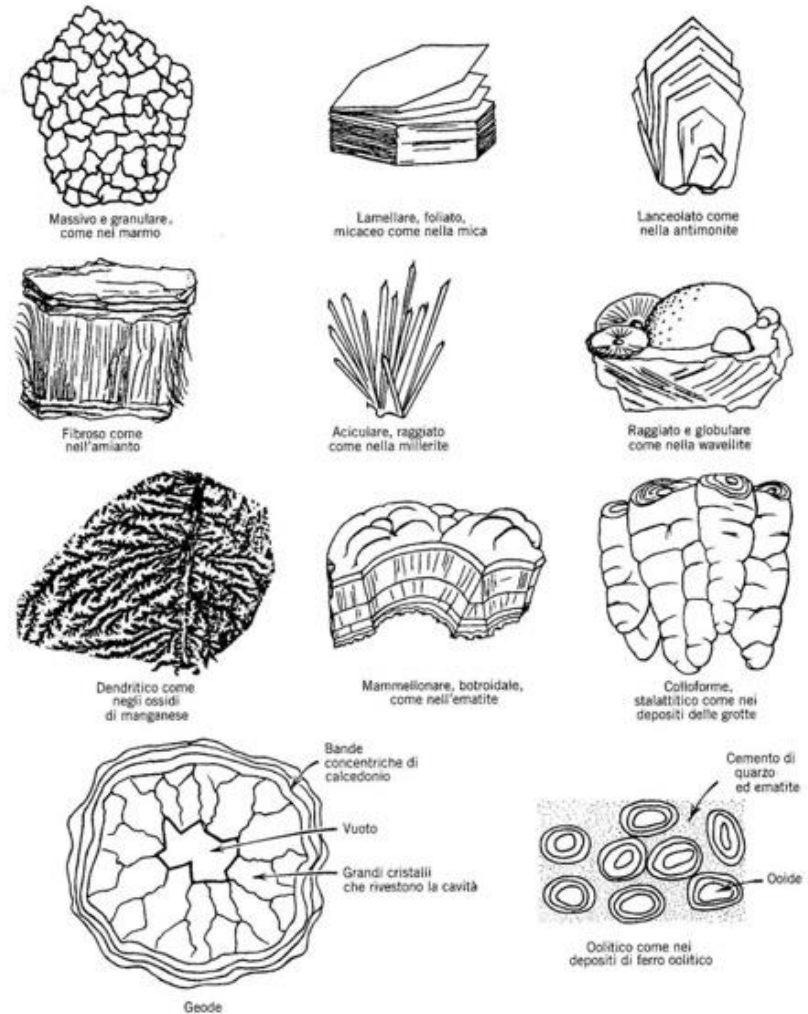


Figura 2.8 Alcuni abiti comuni e minerali in cui si presentano (da Klein, C., 1994, *Mineral and Rocks. Exercises in Crystallography and Hand Specimen Petrology*, New York, Wiley, p. 305).

Proprietà fisiche dei minerali

ABITO CRISTALLINO

Isodiametrico



Proprietà fisiche dei minerali

ABITO CRISTALLINO

Prismatico, colonnare, aciculare, fibroso



Proprietà fisiche dei minerali

ABITO CRISTALLINO

Tabulare, lamellare



Proprietà fisiche dei minerali

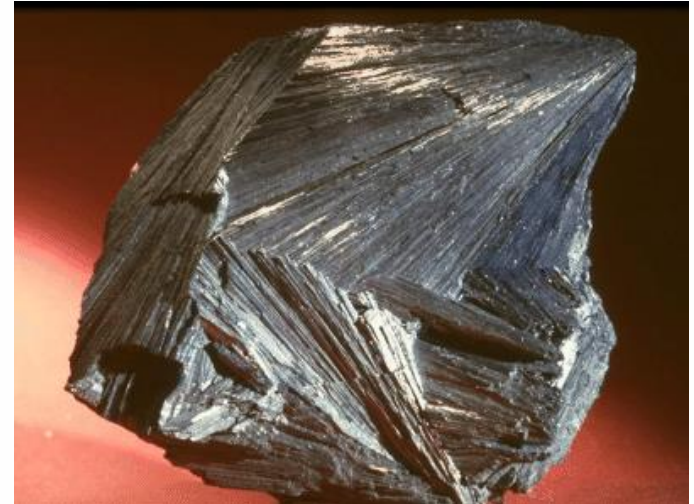
ABITO CRISTALLINO

Filiforme, dendritico, raggiato

Argento



Anfibolo



Dendritico: arborescente, spesso assomiglia ad una pianta....

Proprietà fisiche dei minerali

ABITO CRISTALLINO

Globulare, botrioidale, colloforme

Cristalli a crescita radiale formano masse sferoidali



Hematite



Malachite



Proprietà fisiche dei minerali

ABITO CRISTALLINO

Aragonite (CaCO_3) prismatica: genesi sedimentaria



Proprietà fisiche dei minerali

ABITO CRISTALLINO

Aragonite (CaCO_3) aciculare: genesi idrotermale



Proprietà fisiche dei minerali

ABITO CRISTALLINO

Aragonite (CaCO_3) massiva: genesi idrotermale



Proprietà fisiche dei minerali

ABITO CRISTALLINO

Berillo varietà smeraldo ($\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$): abito colonnare



Proprietà fisiche dei minerali

ABITO CRISTALLINO

Sanidino $(K,Na)(Si,Al)_4O_8$: abito tabulare



Proprietà fisiche dei minerali

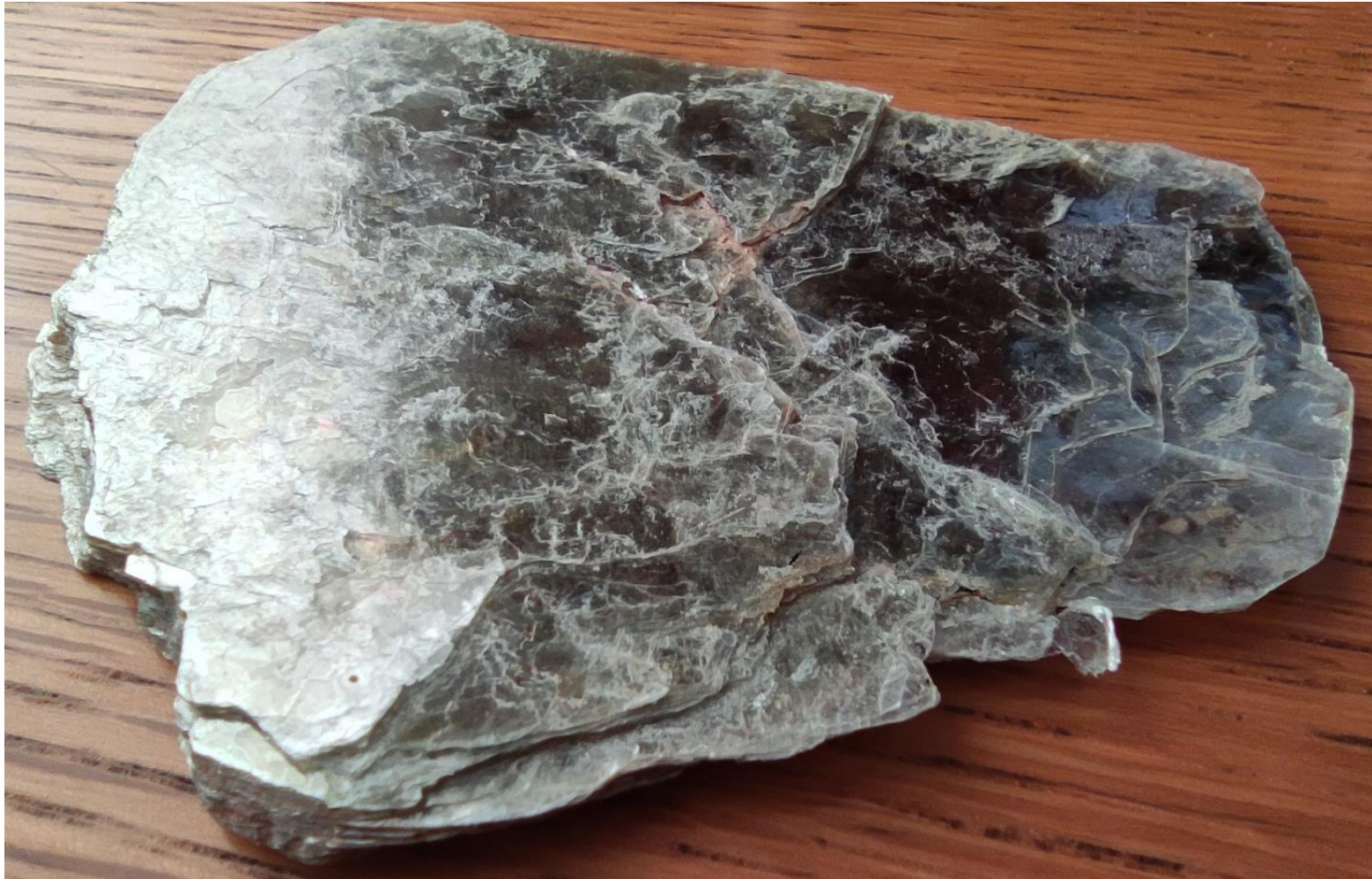
ABITO CRISTALLINO Calcite (CaCO_3): abito lenticolare



Proprietà fisiche dei minerali

ABITO CRISTALLINO

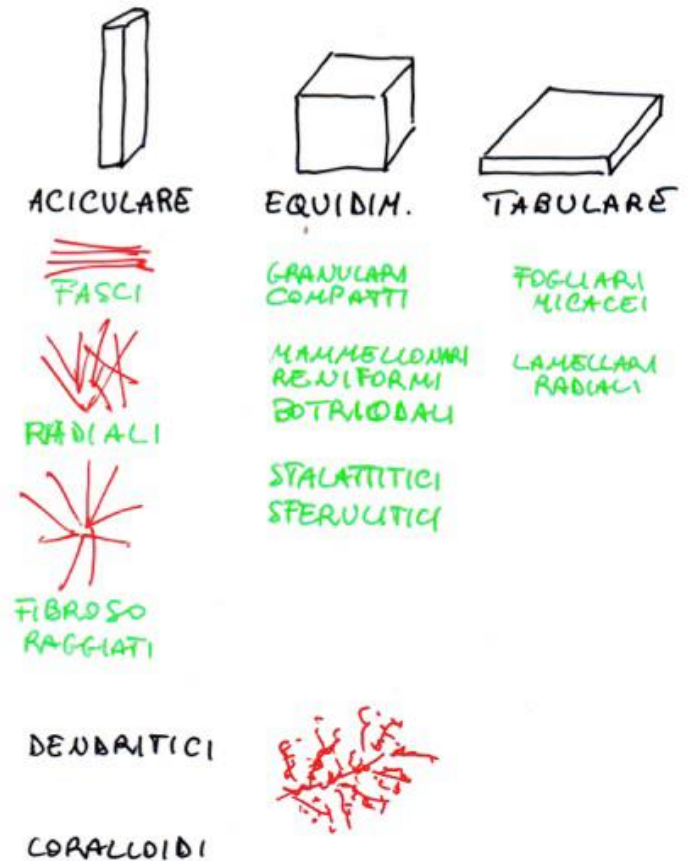
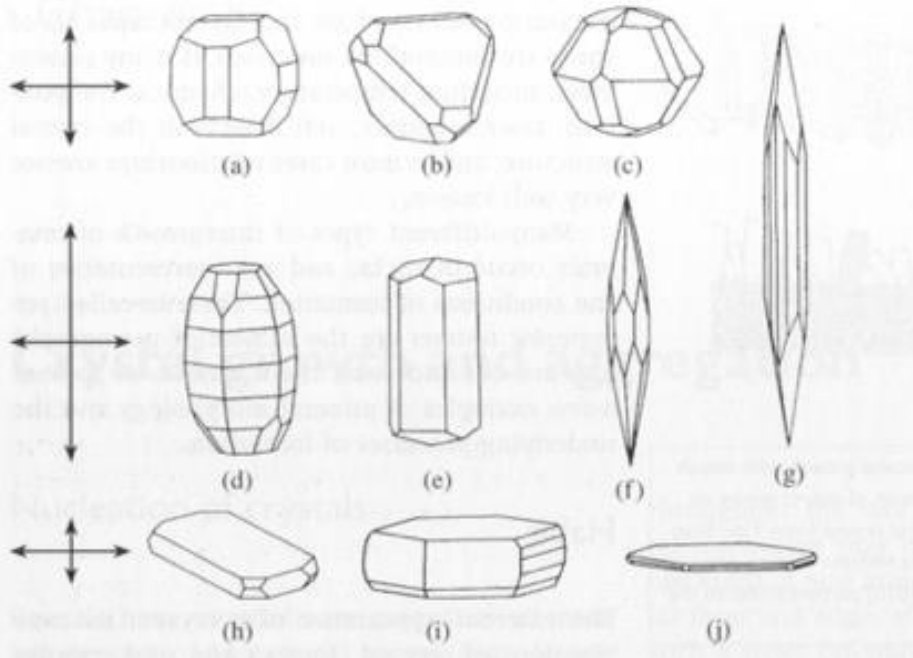
Muscovite ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$): abito lamellare



Proprietà fisiche dei minerali

CONCRESCIMENTI, GEMINAZIONI E STRIATURE

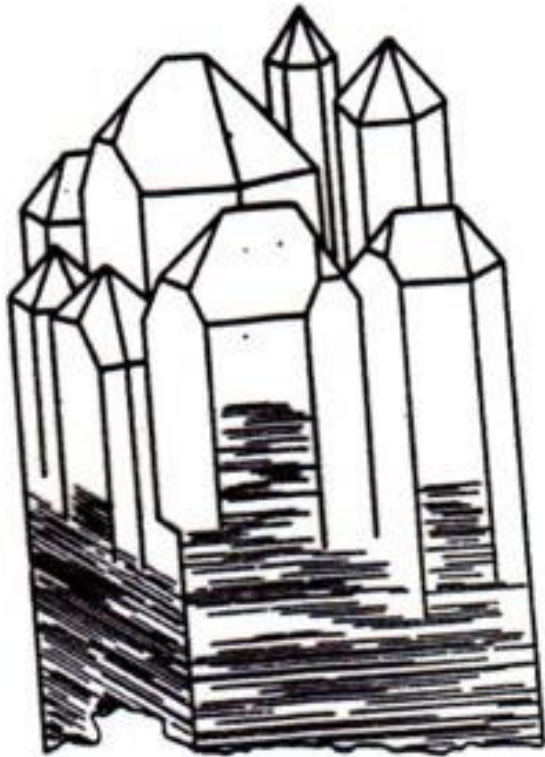
Aggregati: raggruppamenti irregolari di cristalli. A seconda dell'abito possono formarsi vari tipi di aggregati.



Proprietà fisiche dei minerali

CONCRESCIMENTI, GEMINAZIONI E STRIATURE

Associazione regolare parallela: unione di due o più individui della stessa specie, con parallelismo nelle direzioni cristallografiche.



Tormalina $\text{NaFe}_3\text{Al}_6[(\text{OH})_4/\text{BO}_3]_3/\text{Si}_6\text{O}_{18}$



Proprietà fisiche dei minerali

CONCRESCIMENTI, GEMINAZIONI E STRIATURE

Talco ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$): concrescimento globulare/botrioidale



Proprietà fisiche dei minerali

CONCRESCIMENTI, GEMINAZIONI E STRIATURE

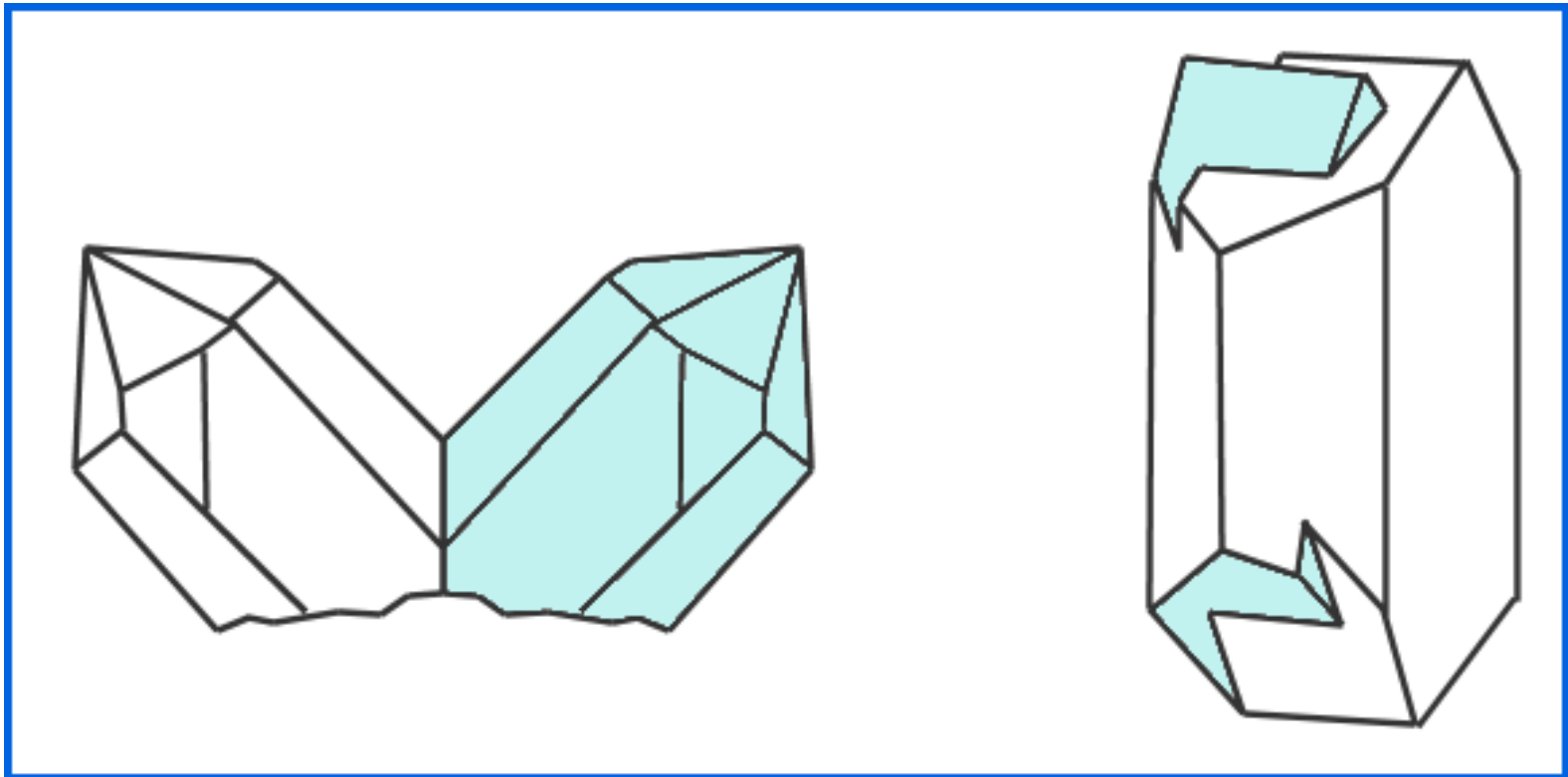
Pirolusite (MnO_2): concrescimento dendritico/arborescente



Proprietà fisiche dei minerali

CONCRESCIMENTI, GEMINAZIONI E STRIATURE

Geminati: unione di due o più individui della stessa specie, con diverse orientazioni cristallografiche, correlabili da un'operazione di simmetria, peculiare del geminato e non dei singoli individui.



Proprietà fisiche dei minerali

CONCRESCIMENTI, GEMINAZIONI E STRIATURE

Geminati

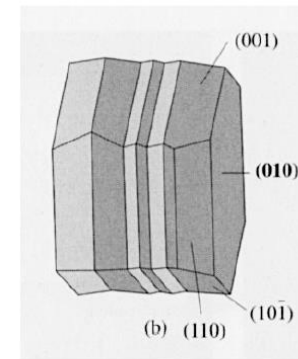
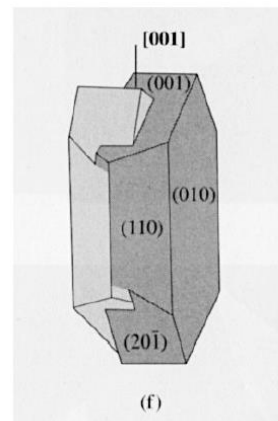
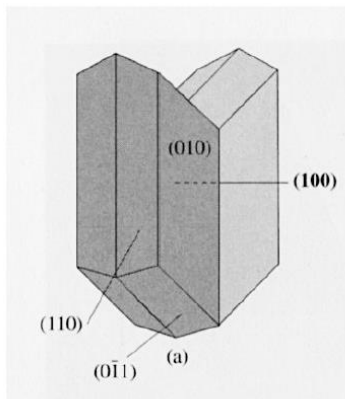
Piano di contatto: piano secondo il quale si uniscono i due individui.

LISCIO: geminati di contatto.

SINUOSO: geminati di compenetrazione.

Geminati di più individui: poligeminati o geminati polisintetici

Talvolta i geminati presentano particolari caratteristiche come angoli rientranti e striature, che ne permettono il riconoscimento.



CONCRESCIMENTI, GEMINAZIONI E STRIATURE

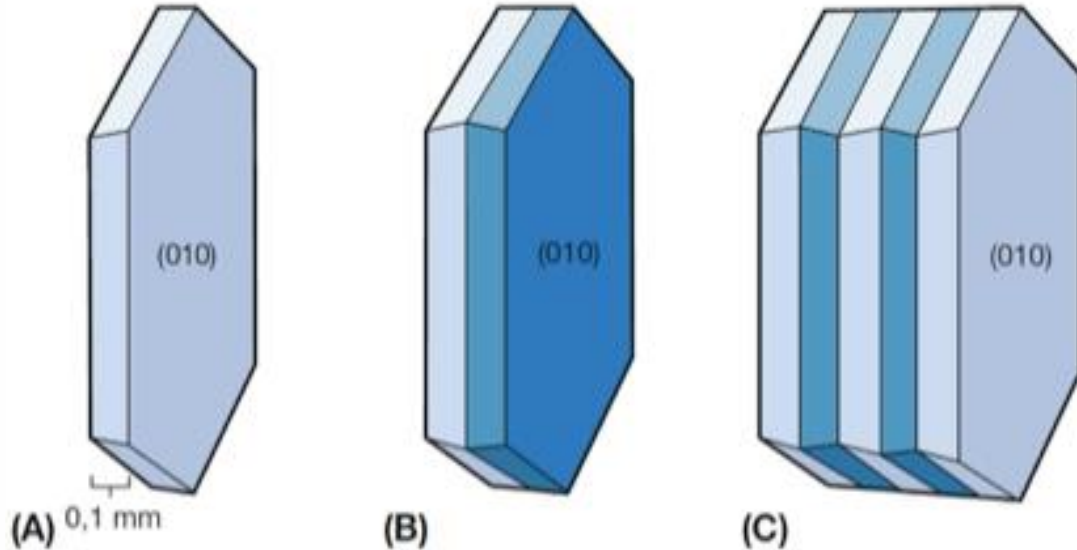
Geminati: meccanismi di geminazione

- **Geminati per accrescimento:** dipendono dal posizionamento di atomi o ioni (o gruppi di atomi o ioni) sulla parte esterna di un cristallo in accrescimento in modo tale che la disposizione regolare del reticolo cristallino originario sia interrotta. La geminazione per accrescimento riflette eventi accidentali durante la crescita libera, detti errori di nucleazione ed è la cosiddetta geminazione primaria.
- **Geminati per trasformazione:** si formano a partire da preesistenti cristalli in seguito a trasformazioni polimorfe. Un esempio è dato dai cristalli di quarzo. Il quarzo- β , raffreddandosi ad una temperatura inferiore a 573 °C, si trasforma in quarzo- α . Nel passaggio a quarzo- α , la struttura originale del quarzo- β può scegliere fra queste due orientazioni, legate fra di loro da una rotazione di 180°, a causa della struttura trigonale del quarzo- α .
- **Geminati per scivolamento:** si genera in seguito alla deformazione di un cristallo per applicazione di uno sforzo meccanico; lo sforzo applicato produce uno scivolamento degli atomi a piccola scala, e se non avviene la rottura, si può avere geminazione. Questo tipo di geminazione è comune nei metalli e frequente nella calcite.

Proprietà fisiche dei minerali

CONCRESCIMENTI, GEMINAZIONI E STRIATURE

Esempi di geminati tipici: sistema triclino



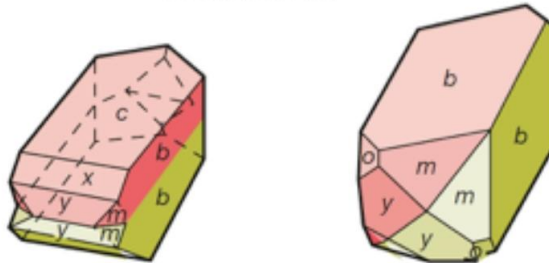
Proprietà fisiche dei minerali

CONCRESCIMENTI, GEMINAZIONI E STRIATURE

Esempi di geminati tipici: sistemi monoclinico, rombico e trigonale

Ortoclasio

Monoclino: $2/m$



(D) Geminato Manebach su {001} Geminato Baveno su {021}

Gesso

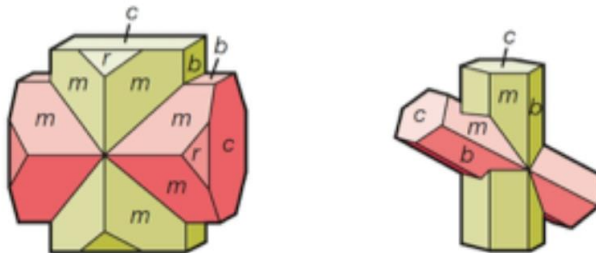
Monoclino: $2/m$



(C) Geminato a coda di rondine su {100}

Staurolite

Pseudo-ortorombica (monoclina con $\beta \sim 90^\circ$): $2/m$

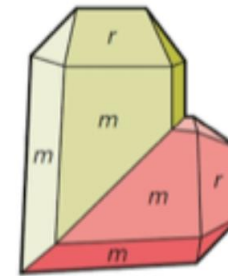


(B) Geminato su {031}

Geminato su {231}

Quarzo

Esagonale: 32

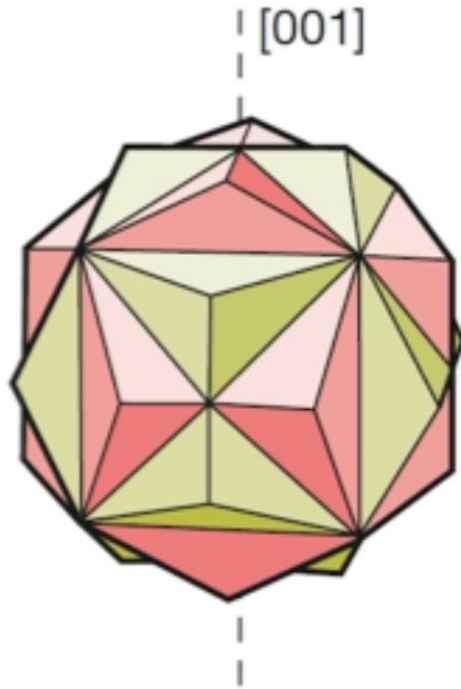


(A) Geminato del Giappone su $\{11\bar{2}2\}$

Proprietà fisiche dei minerali

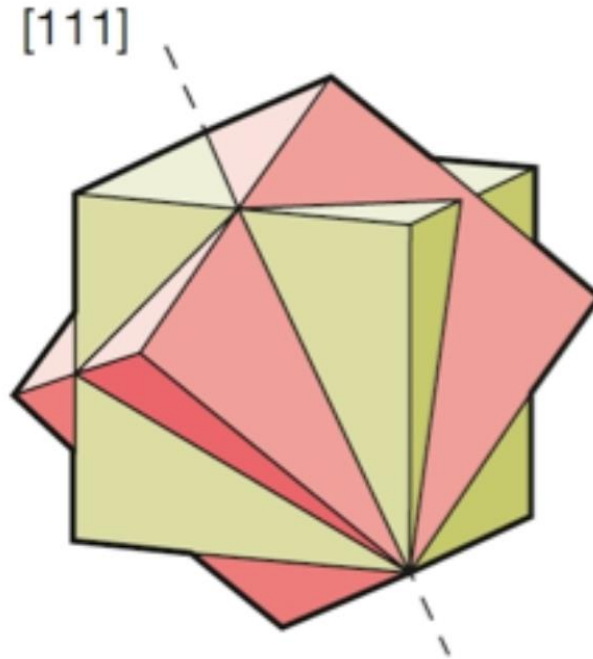
CONCRESCIMENTI, GEMINAZIONI E STRIATURE

Esempi di geminati tipici: sistema cubico



Pirite “Croce di ferro”

Legge di geminazione:
rotazione di 90° attorno $[001]$



Fluorite

Legge di geminazione:
rotazione di 90° attorno $[111]$

Proprietà fisiche dei minerali

CONCRESCIMENTI, GEMINAZIONI E STRIATURE

Fluorite (CaF_2): geminati



Proprietà fisiche dei minerali

CONCRESCIMENTI, GEMINAZIONI E STRIATURE

Gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): geminato a coda di rondine



Proprietà fisiche dei minerali

CONCRESCIMENTI, GEMINAZIONI E STRIATURE

Staurolite $(\text{Fe,Mg,Zn})_2(\text{Al,Fe,Ti})_9\text{O}_6[(\text{Si,Al})\text{O}_4]_4(\text{O,OH})_2$:
geminato a croce di Sant'Andrea



Proprietà fisiche dei minerali

COLORE

- Il colore è una delle caratteristiche più immediate di un minerale.
- Dipende dall'assorbimento della radiazione luminosa.
- Il colore è effetto di molte cause differenti: composizione chimica, impurità e danni nel /del reticolo cristallino.
- Sfortunatamente, anche se è facile da determinare, non è quasi mai un parametro diagnostico.
- Molti minerali possono cristallizzare con colori molto diversi!

Table 11.1 | Causes of colors in important minerals

Mineral name	Gem names ^a	Color	Origin of color ^b
Fluorite		Purple	Color centers
Halite		Blue, yellow	Color centers
Topaz		Blue, yellow	Color centers
Corundum	Ruby	Red	Cr ³⁺ (CF)
	Sapphire	Blue	Fe ²⁺ ⇌ Ti ⁴⁺ (CT)
Garnet	Spessartine	Yellow-orange	Mn ²⁺ (CF)
	Demantoid	Green	Cr ³⁺ (CF)
	Almandine	Dark red	Fe ²⁺ (CF)
Beryl	Emerald	Deep green	Cr ³⁺ (CF); Fe ²⁺ ⇌ Fe ³⁺ (CT)
	Aquamarine	Blue-green	Mn ²⁺ (CF)
	Morganite	Pink	O ²⁻ ⇌ Fe ³⁺ (CT)
	Heliodore	Yellow	
Cordierite		Blue	Fe ²⁺ ⇌ Fe ³⁺ (CT)
Kyanite		Blue	Fe ²⁺ ⇌ Ti ⁴⁺ (CT)
Topaz	Imperial topaz	Golden	
Tourmaline	Rubellite	Pink	Mn ³⁺ (CF)
Quartz	Amethyst	Violet	Fe (color centers)
	Citrine	Yellow	Fe (color centers)
	Rose quartz	Pink	Fe ²⁺ ⇌ Ti ⁴⁺ (CT, inclusions)
	Smoky quartz	Brown	Al (color centers)
Olivine	Peridot	Green	Fe (CF)
Turquoise		Blue	Cu ²⁺ (CF)

^a Separate gem names for colored minerals are indicated.

^b CF, crystal-field transition; CT, charge-transfer (molecular orbital) transition.

Proprietà fisiche dei minerali

COLORE

... alcuni dei colori tipici del quarzo

q. ametista (viola)



q. citrino (giallo-bruno)



q. incolore



q. rosa



q. affumicato (grigio-nero)



Proprietà fisiche dei minerali

COLORE Quarzo incolore



Proprietà fisiche dei minerali

COLORE

Quarzo ametista (inclusioni di Fe)



Proprietà fisiche dei minerali

LUCENTEZZA

La lucentezza di un minerale è il modo in cui riflette la luce.

- **Lucentezza metallica**
- **Lucentezza non-metallica:** vitrea; setosa; resinosa; madreperlacea; untuosa; cerosa; terrosa; non lucente (tutti termini “auto esplicativi”).



Proprietà fisiche dei minerali

LUCENTEZZA

Esempi di lucentezza metallica



Esempi di lucentezza non-metallica

Vitrea



Setosa



Resinosa



Proprietà fisiche dei minerali

LUCENTEZZA

Ematite (Fe_2O_3): lucentezza metallica



Proprietà fisiche dei minerali

LUCENTEZZA

Fluorite (CaF_2): lucentezza vitrea



Proprietà fisiche dei minerali

LUCENTEZZA

Zolfo (S): lucentezza adamantina



Proprietà fisiche dei minerali

LUCENTEZZA

Gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): lucentezza madreperlacea



Proprietà fisiche dei minerali

TRASPARENZA

Capacità di un minerale di trasmettere la luce attraverso di esso.

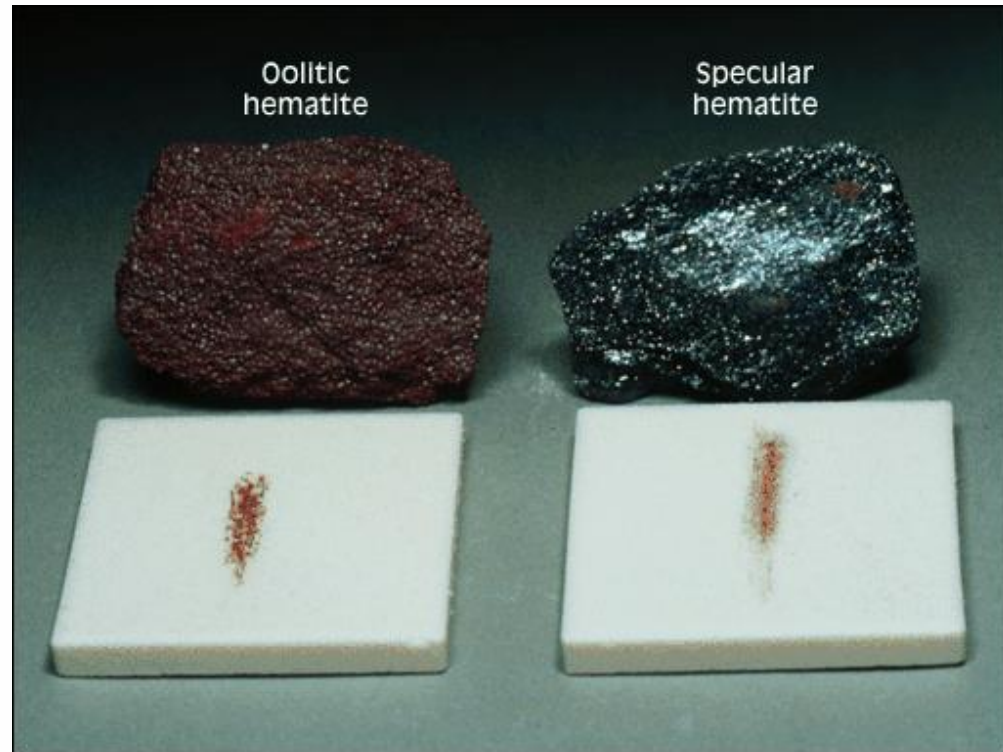
I minerali possono essere:

- trasparenti: si può vedere attraverso di essi sia la luce che le immagini;
- traslucenti: trasmettono solo la luce;
- opachi: non trasmettono la luce.



STRISCIO

- Il colore di un minerale nella sua forma in polvere.
- Se si strofina il campione su una piastra per le striature (piastra di porcellana dura e non smaltata), lascerà una polvere colorata. Questa striatura è distintiva per i minerali e può essere usata per identificare i minerali.
- Di solito è meno variabile del colore, utile per distinguere tra minerali con lucentezza metallica (minerali opachi).



Proprietà fisiche dei minerali

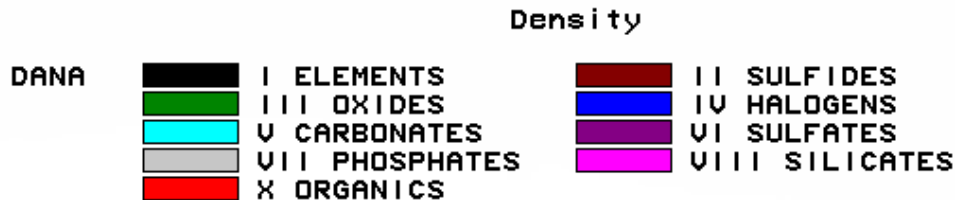
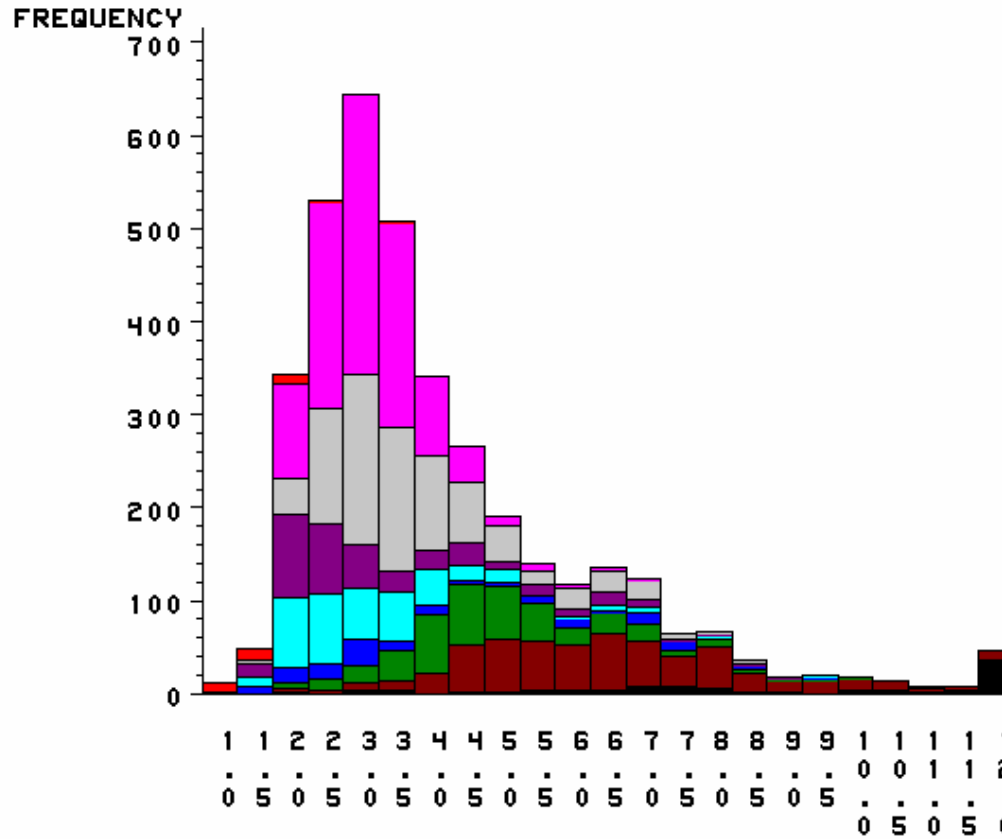
DENSITÀ E PESO SPECIFICO

- Densità: rapporto massa su volume (g/cm^3)
- Peso specifico: rapporto tra il peso di una sostanza ed il peso di un ugual volume di acqua
- Densità variabile da meno di 1 a più di 20

	D		D		D
Montmorillonite	2 - 2,3	Talco	2,78	Iperstene	3,98
Tridimite	2,31	Muscovite	2,83	Piropo	3,6
Leucite	2,47	Dolomite	2,87	Spinello	3,75
Ortoclasio	2,57	Biotite	2,7-3,3	Corindone	4,02
Caolinite	2,58	Fluorite	3,18	Almandino	4,3
Albite	2,61	Forsterite	3,21	Barite	4,47
Quarzo	2,65	Orneblenda	3,0-3,4	Ilmenite	4,75
Calcite	2,71	Enstatite	3,20	Cromite	4,9
Anortite	2,76	Diopside	3,2-3,6	Pirite	5,0

Proprietà fisiche dei minerali

DENSITÀ E PESO SPECIFICO



Proprietà fisiche dei minerali

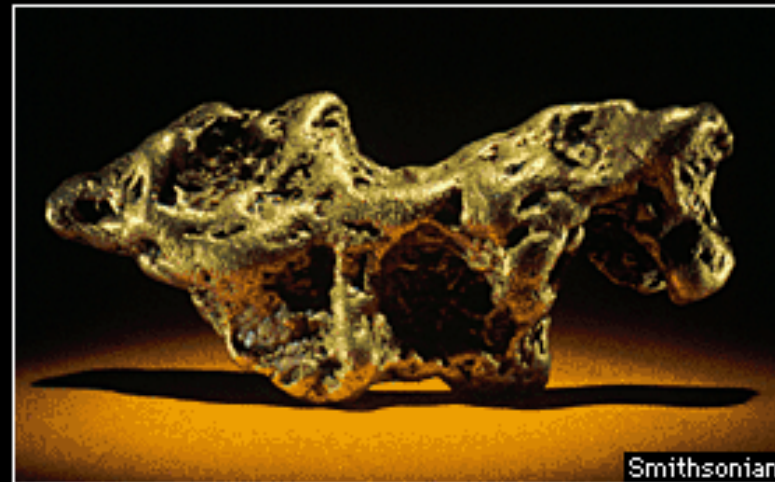
DENSITÀ E PESO SPECIFICO



Quartz has a specific gravity of 2.7



Galena has a specific gravity of 7.5



Smithsonian

Gold has a specific gravity of 20

Proprietà fisiche dei minerali

RADIOATTIVITÀ

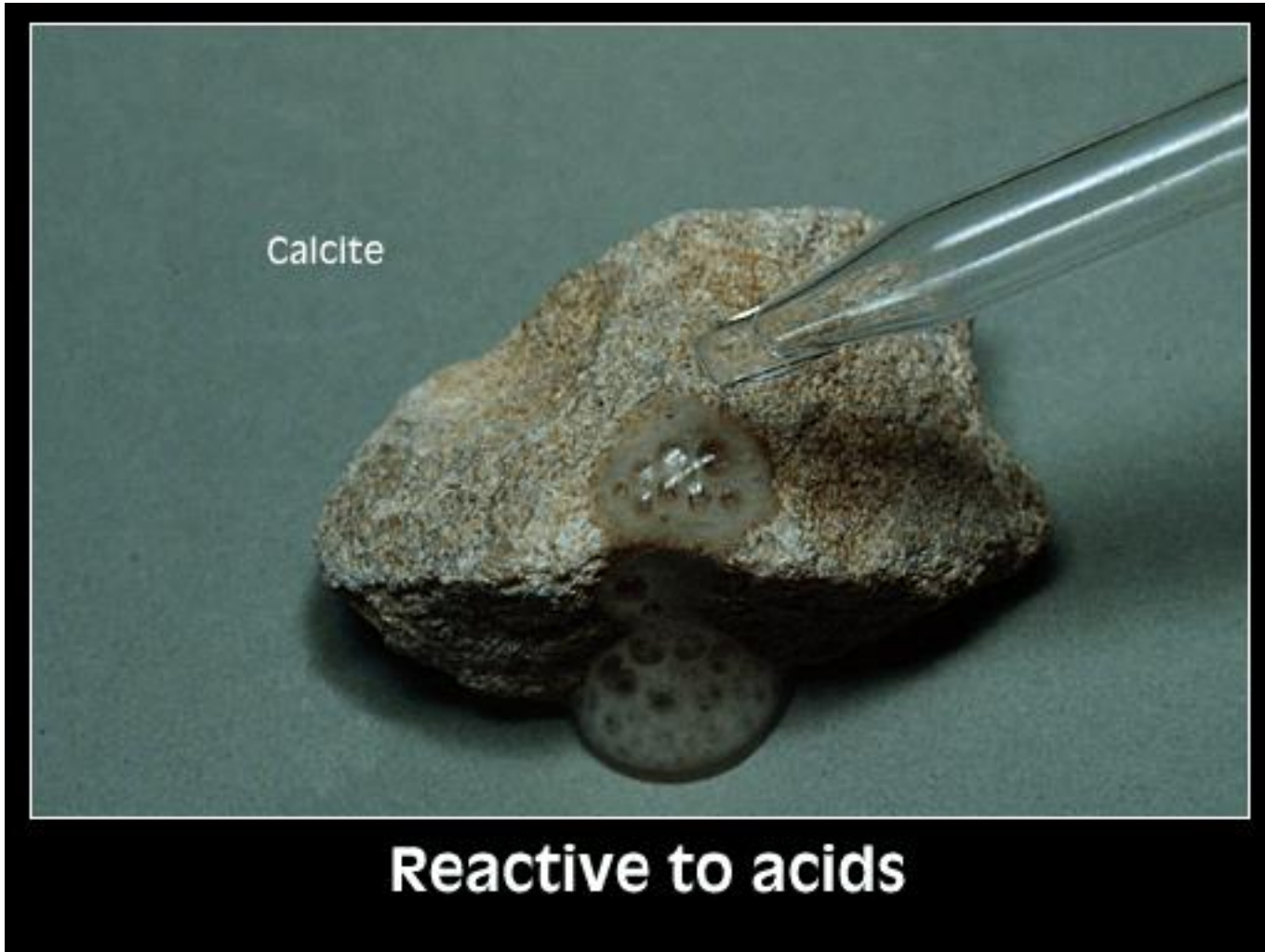
I minerali che contengono elementi radioattivi (U, Th...) sono soggetti a **decadimento radioattivo**: isotopi radioattivi si disintegrano naturalmente, formando isotopi figli con emissione di energia sotto forma di particelle α e β e radiazione γ .

La radiazione prodotta può essere misurata mediante un contatore Geiger o uno scintillometro.



Proprietà fisiche dei minerali

SOLUBILITÀ IN HCl



Proprietà fisiche dei minerali

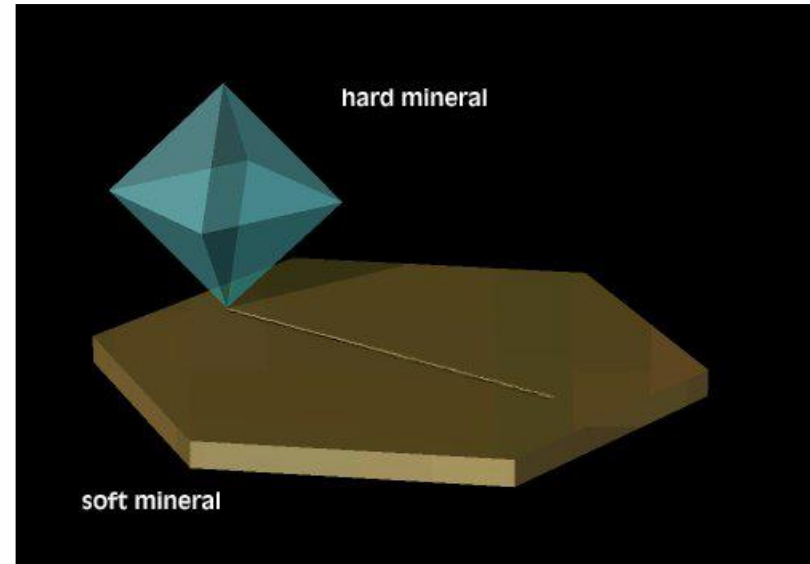
PUNTO DI FUSIONE

La determinazione del punto di fusione non è una determinazione molto comune in quanto le temperature di fusione sono generalmente elevate. Kobbel propose una scala di fusibilità basata sulla possibilità di fondere alla fiamma del fiammifero (500-600°C, ad es. antimonite), con facilità al cannello ferruminatorio (sotto i 1000°C), con difficoltà tra 1000°C e 1300°C. Minerali come il quarzo che fondono sopra i 1400°C venivano considerati infusibili.



DUREZZA

Per durezza si intende generalmente la resistenza opposta da un minerale ad essere scalfito e non va confusa con la fragilità. I minerali dal punto di vista della durezza furono in un primo tempo divisi in tre categorie: teneri, semiduri e duri a seconda che si lasciassero scalfire dall'unghia, da una punta di acciaio, o nemmeno da questa. Mohs propose nel 1832 una scala di 10 termini a durezza crescente. Essa è costituita dai minerali seguenti:



Proprietà fisiche dei minerali

DUREZZA

Si riga con l'unghia	1	TALCO
	2	GESSO
Si riga con una punta di rame	3	CALCITE
Si rigano con una punta di acciaio	4	FLUORITE
	5	APATITE
	6	FELDSPATI
	7	QUARZO
Rigano il vetro	8	TOPAZIO
	9	CORINDONE
	10	DIAMANTE



Proprietà fisiche dei minerali

DUREZZA



L'unghia (durezza 2.5) incide il gesso (durezza 2)

Proprietà fisiche dei minerali

DUREZZA

Basandosi su questa scala si dice ad esempio che un minerale ha durezza 8 1/2 se è capace di scalfire il topazio, ma è scalfito dal corindone.

La scala di Mohs è una scala empirica, che tuttavia è tuttora in uso a scopi di riconoscimento di minerali per la semplicità con la quale può essere fatta la determinazione, una volta che uno sia in possesso della serie di dieci minerali sopra elencata.

Ha tuttavia il difetto di considerare la durezza come una proprietà scalare, mentre in realtà la durezza è una proprietà fisica vettoriale, anche se la sua variazione con la direzione non è in genere eccessiva per lo meno se il minerale non presenta nette sfaldature.



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

Proprietà fisiche dei minerali

DUREZZA

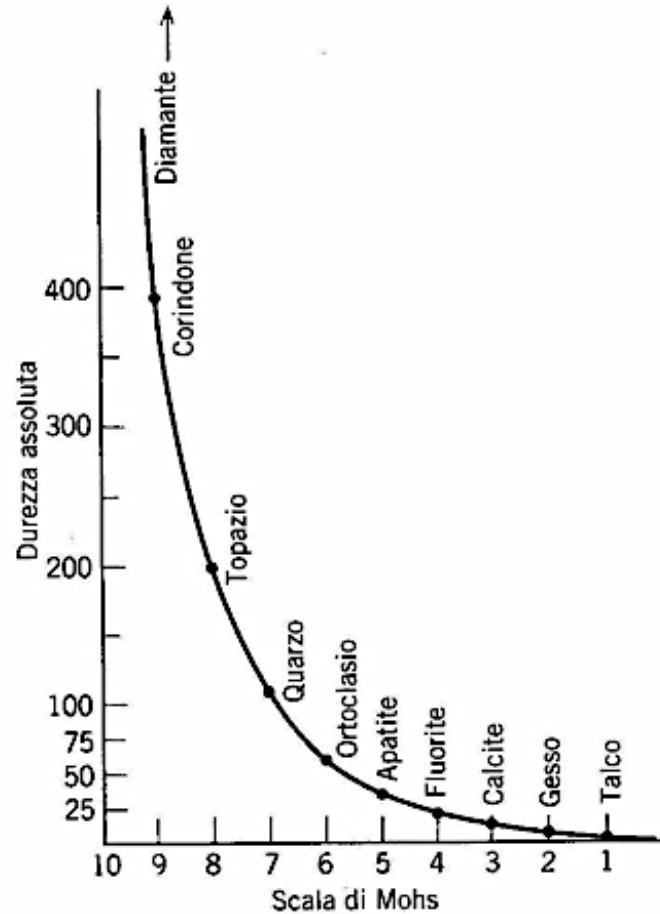


Figura 2.19 Confronto fra la scala di durezza relative di Mohs e misure assolute della durezza.

DUREZZA

La durezza (**H**) e' funzione della forza dei legami tra atomi e della struttura cristallina

In generale:

- I minerali idrati sono teneri (**H**<5)
- Alogenuri, carbonati e fosfati sono teneri (**H**< 5 1/2)
- I solfuri sono teneri (**H**<5) con l'eccezione della pirite (**H**<6-6 1/2)
- Gli ossidi anidri ed i silicati sono generalmente duri (**H**>5)

Proprietà fisiche dei minerali

SFALDATURA E FRATTURA

Quando vengono colpiti (es. con un martello) i minerali si rompono in 2 modi molto diversi.



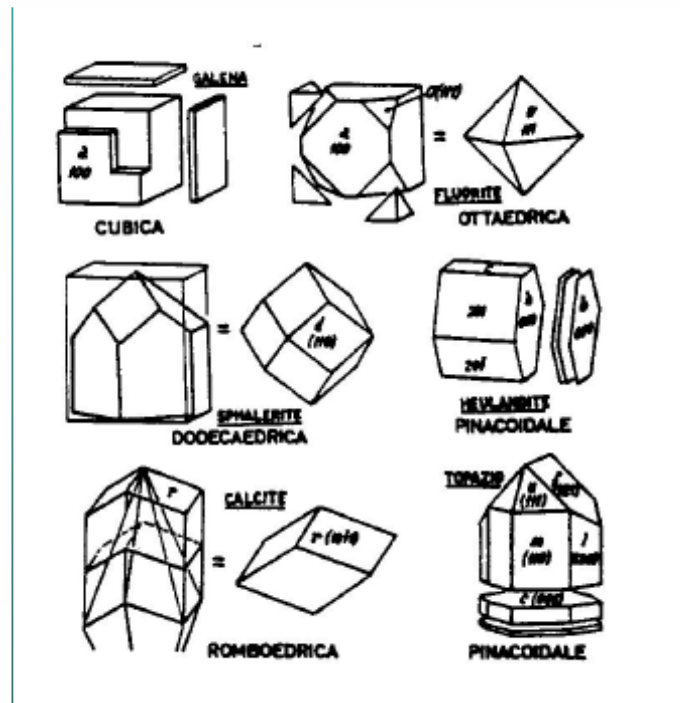
Alcuni minerali si frantumano in pezzi irregolari (come il vetro)

Altri si suddividono lungo superfici piane (superfici di sfaldatura)

Proprietà fisiche dei minerali

SFALDATURA

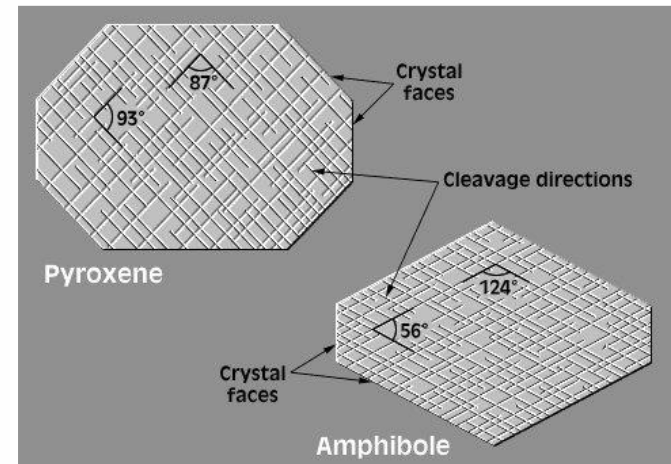
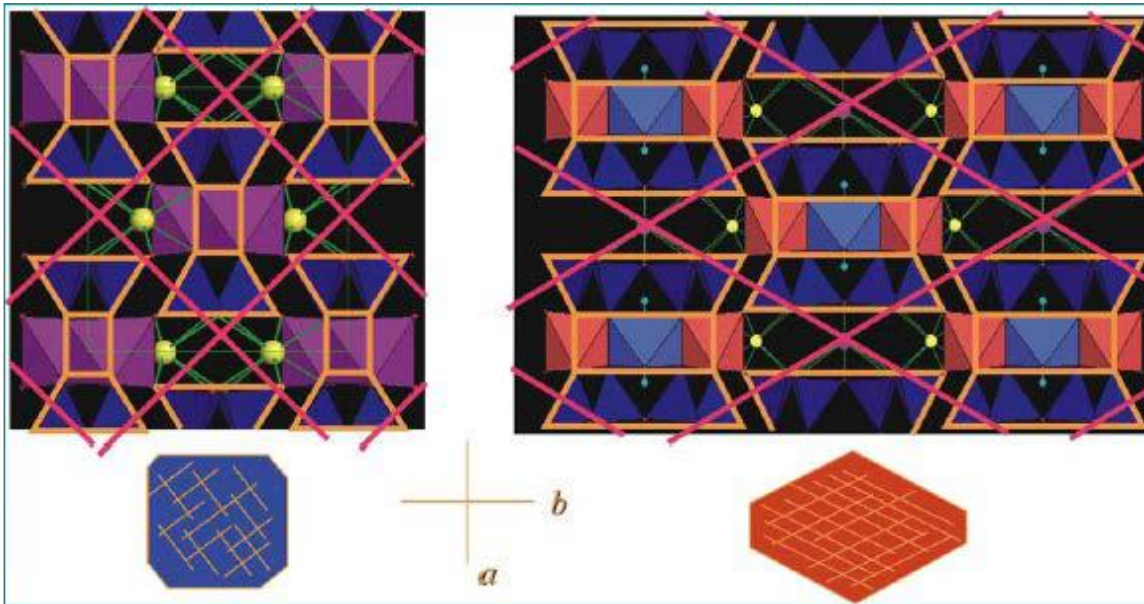
- E' la proprietà di molti minerali di **rompersi secondo superfici piane** (parallele a facce del cristallo).
- A seconda della perfezione della superficie generata e della facilità nel provocarla, viene definita: perfetta o imperfetta, facile, distinta, difficile, incerta.....



Proprietà fisiche dei minerali

SFALDATURA

- La sfaldatura avviene secondo **piani paralleli a facce reali o possibili del cristallo**, cioè secondo piani razionali. Se si ha sfaldatura secondo una faccia di una forma semplice, la si ha pure secondo tutte le altre facce che compongono la forma semplice stessa, per cui se la forma semplice è chiusa, si può ottenere sottoponendo un cristallo a sollecitazioni meccaniche un così detto **solido di sfaldatura**, delimitato dalle facce in questione.
- La possibilità di sfaldature è spesso rilevabile sui campioni di minerali dalla presenza sulle facce di serie di incrinature (**tracce di sfaldatura**), le quali risultano parallele ai piani secondo cui avviene la rottura. Le tracce di sfaldatura sono un utile strumento diagnostico per il riconoscimento e la distinzione di numerosi minerali (ad esempio anfiboli e pirosseni).



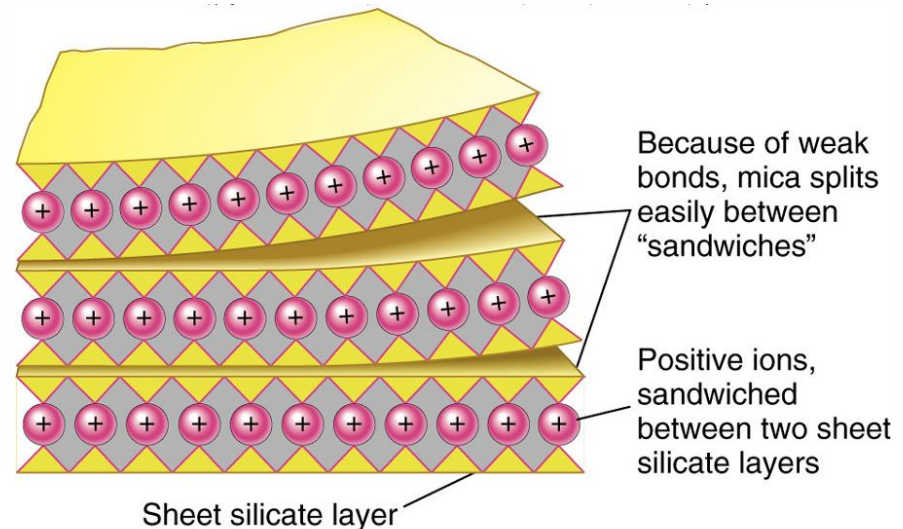
Proprietà fisiche dei minerali

SFALDATURA

Un buon esempio di sfaldatura perfetta viene dalle miche, che si sfaldano lungo piani paralleli alle facce basali dei cristalli.

Esiste perchè in alcuni minerali, i legami tra alcuni piani di atomi allineati in una certa direzione, sono più deboli dei legami tra altri piani di atomi.

In questi casi, la rottura avviene lungo piani paralleli a queste zone di debolezza.



Proprietà fisiche dei minerali

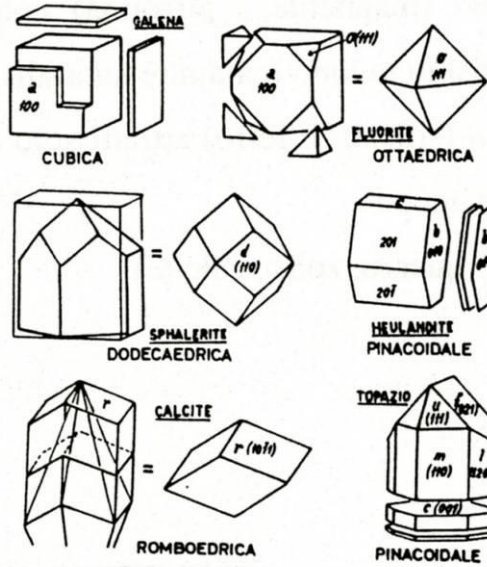
SFALDATURA

Quanti piani di sfaldatura differenti possono esserci in un minerale?

In alcuni 1, 2, 3, 4, fino a 6.

Questa caratteristica è molto importante e diagnostica.

Fig. 44 - Tipi di sfaldature



Proprietà fisiche dei minerali

FRATTURA

Tendenza a rompersi lungo superfici irregolari.

Quando i legami tra gli atomi hanno approssimativamente la stessa forza in tutte le direzioni, la rottura avviene sia lungo superfici irregolari che lungo superfici curve concoidi. Esattamente come avviene nel vetro.



FRATTURA

I mineralogisti distinguono vari tipi di frattura in dipendenza della natura delle superfici che si formano:

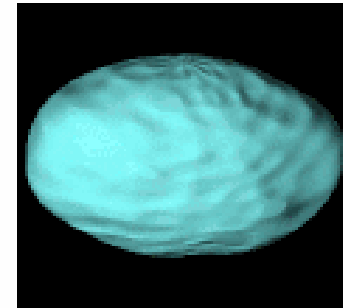
- **concoide** (da conchiglia, con superfici curve a contorno irregolare - quarzo);
- **scagliosa** (con superfici formate da particelle lamellari - gesso, talco);
- **scheggiosa** (con superfici cosparse di schegge o fibre - pectolite);
- **uncinata** (con superfici mostranti punte - metalli);
- **terrosa** (con superfici cosparse di granuli minuti - materiali argillosi).

Proprietà fisiche dei minerali

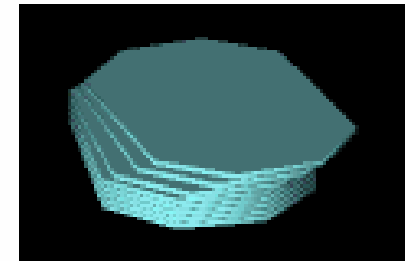
SFALDATURA E FRATTURA

6 possibilità

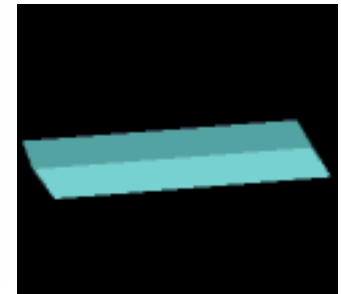
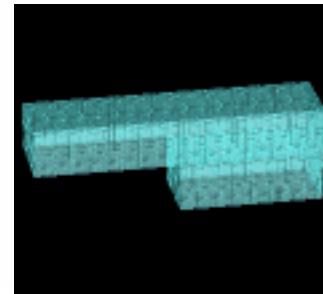
0 direzioni nessuna sfaldatura: frattura
(es. Quarzo)



1 direzione sfaldatura lungo un piano;
“pagine di libro” (es. miche)



2 direzioni Sfaldatura prismatica (es.
feldspati)



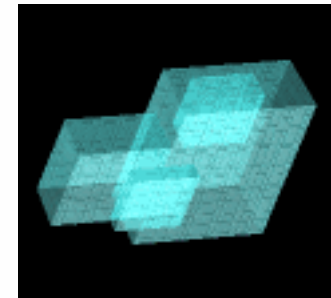
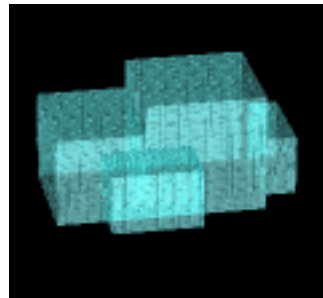
Proprietà fisiche dei minerali

SFALDATURA E FRATTURA

3 direzioni

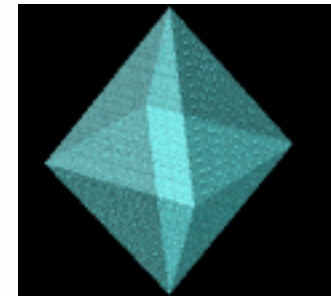
sfald. Cubica

Romboedrica i.e. (Calcite)



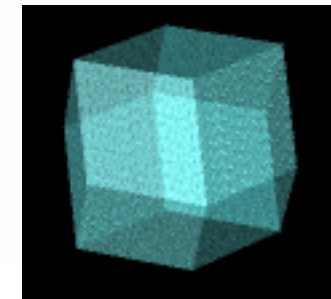
4 direzioni

sfald. ottaedrica
(i.e. Fluorite)



6 direzioni

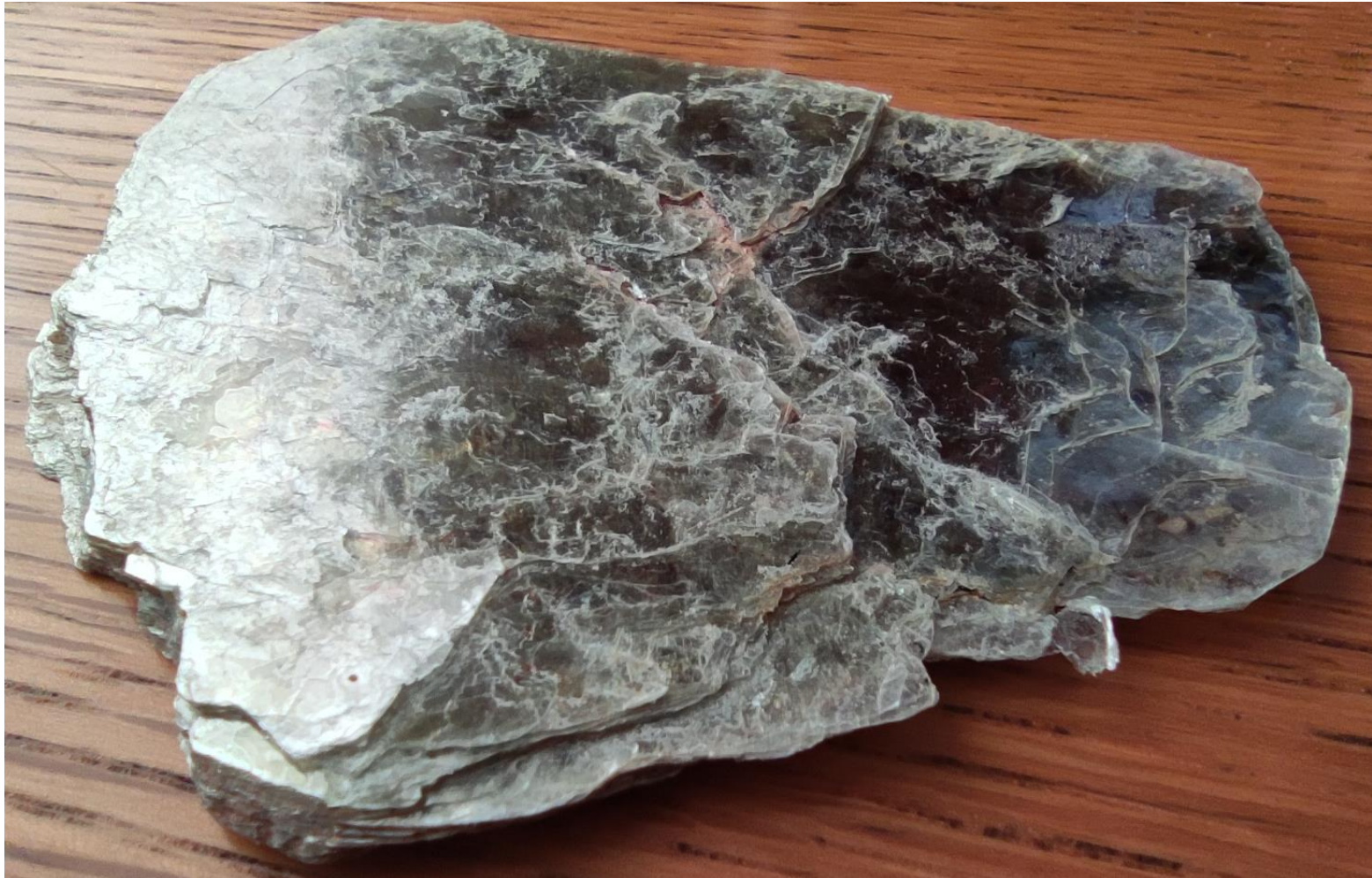
sfaldatura dodecaedrica



Proprietà fisiche dei minerali

SFALDATURA E FRATTURA

Muscovite ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$): sfaldatura 1 direzione



Proprietà fisiche dei minerali

SFALDATURA E FRATTURA

Gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): sfaldatura 1 direzione



Proprietà fisiche dei minerali

SFALDATURA E FRATTURA

Calcite (CaCO_3): sfaldatura romboedrica 3 direzioni



Proprietà fisiche dei minerali

SFALDATURA E FRATTURA

Galena (PbS): sfaldatura cubica 3 direzioni



Proprietà fisiche dei minerali

SFALDATURA E FRATTURA

Sfalerite (Zn,Fe)S: sfaldatura dodecaedrica 6 direzioni



MAGNETISMO

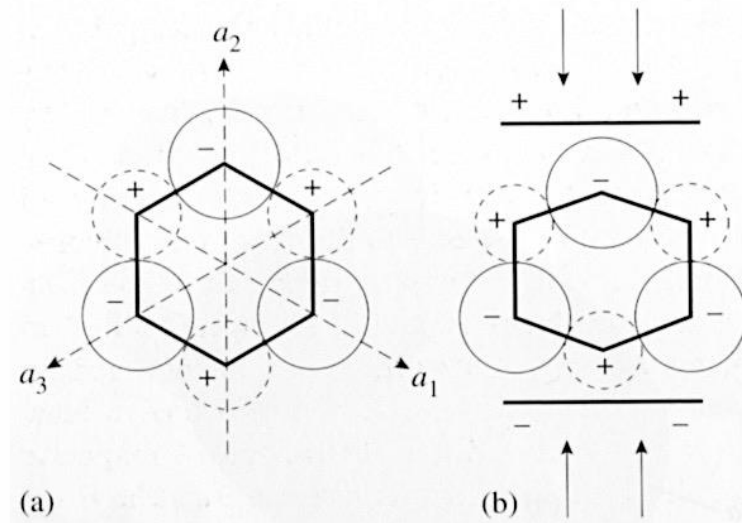
Capacità di un minerale di essere attratto da un campo magnetico.

- **Minerali ferromagnetici** (magnetite, pirrotina): risultano fortemente attratti da un magnete. Alcuni di essi, inoltre, mantengono il magnetismo dopo essere stati separati dall'influenza del magnete.
- **Minerali paramagnetici** (ematite, Fe-silicati): sono attratti debolmente dal magnete e non si magnetizzano quando cessano di trovarsi sotto l'influenza del campo magnetico esterno.
- **Minerali diamagnetici** (quarzo, zolfo, calcite): non vengono attratti dal campo magnetico e possono arrivare persino ad essere respinti in zone dove la forza magnetica è minore.



PIEZOELETRICITÀ

- Capacità di alcuni materiali di generare un potenziale elettrico in risposta alla sollecitazione meccanica applicata.
- L'effetto piezoelettrico è reversibile: i materiali che mostrano l'**effetto piezoelettrico diretto** (produzione di elettricità quando viene applicata una sollecitazione) mostrano anche l'**effetto piezoelettrico inverso** (la produzione di tensione e/o deformazione quando viene applicato un campo elettrico).
- Esempio, orologio al quarzo.



Proprietà fisiche dei minerali

ALTRE PROPRIETÀ IMPORTANTI

- Sapore
- Sensazione al tatto
- Conducibilità elettrica
- Piroelettricità
- Fluorescenza



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

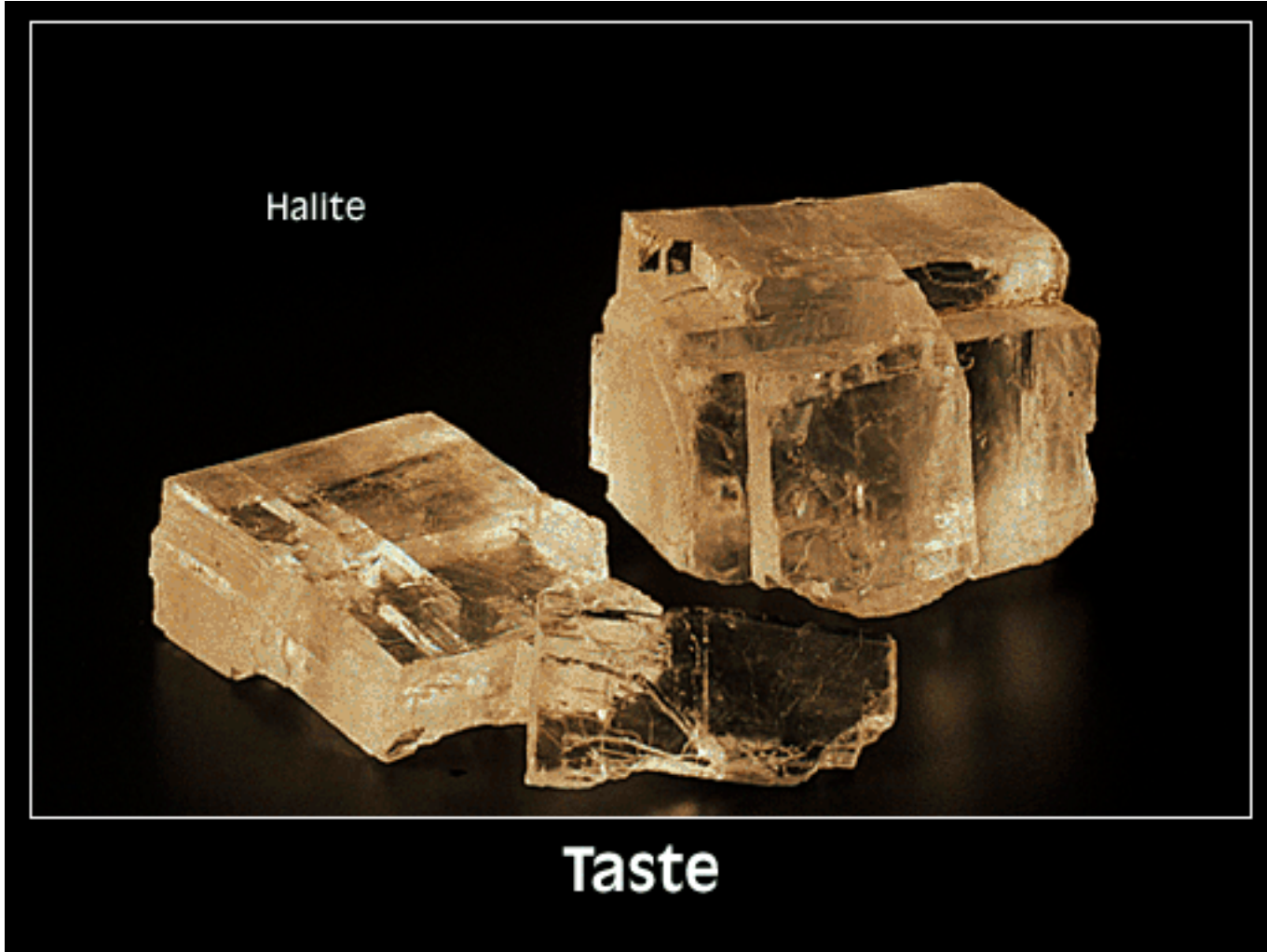
CENTRO PER I
BENI CULTURALI

DIAGNOSTICA . RILIEVO . TECNOLOGIE

Mineralogia e Petrografia per i Beni Culturali

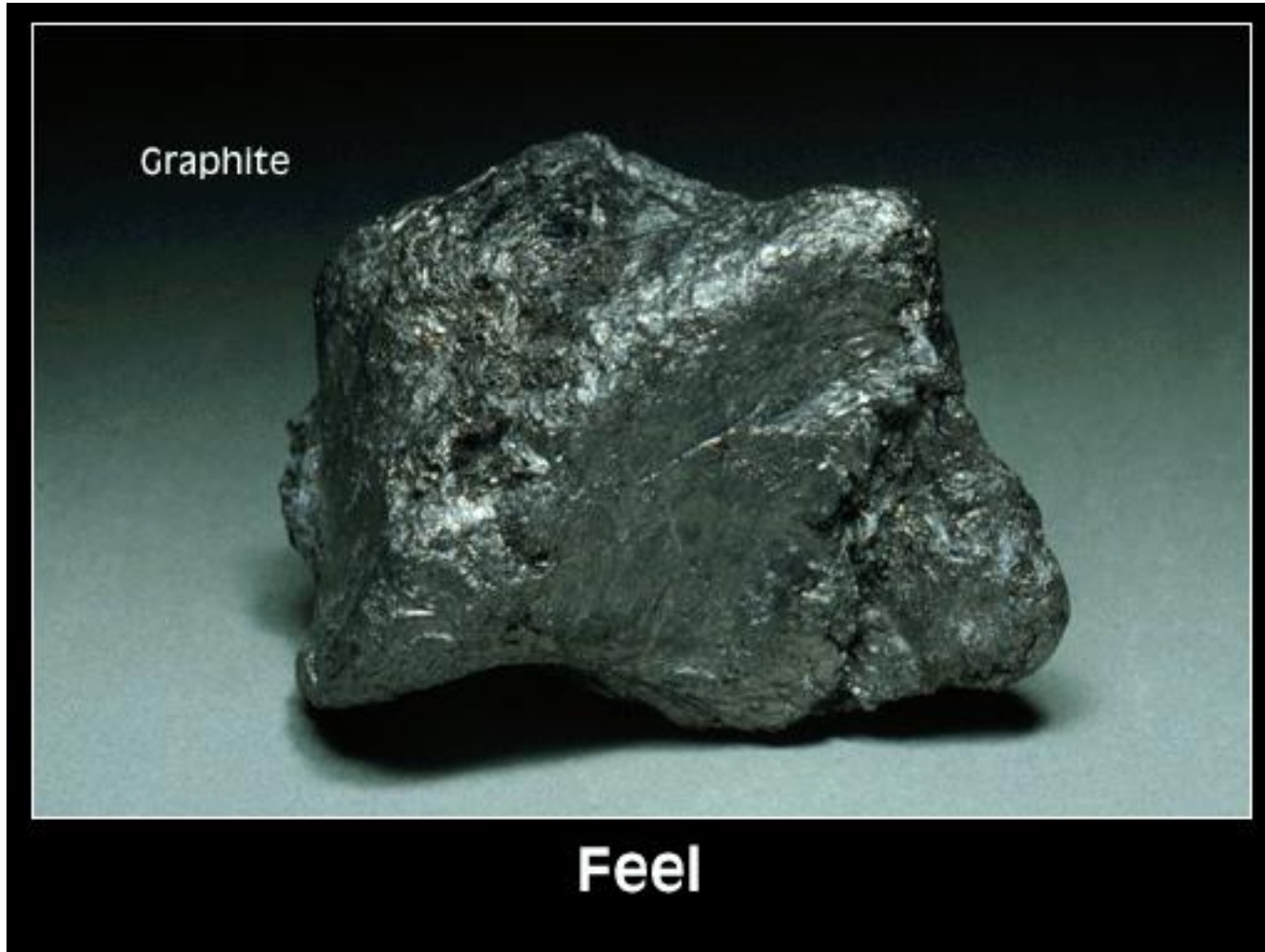
Proprietà fisiche dei minerali

SAPORE



Proprietà fisiche dei minerali

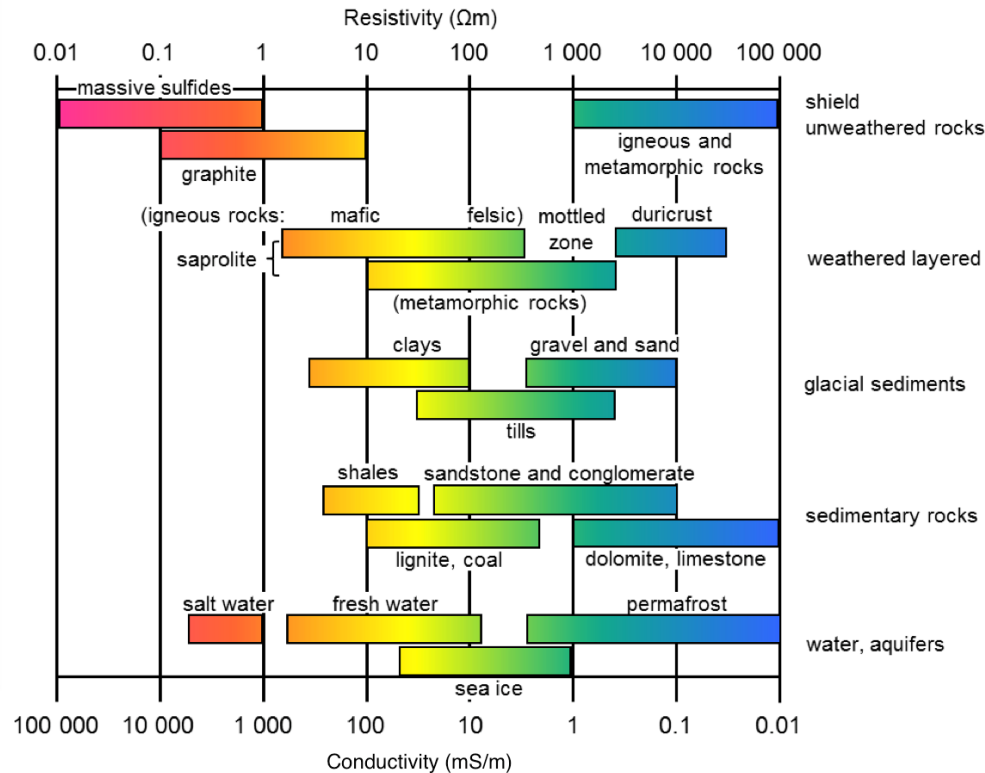
SENSAZIONE AL TATTO



Proprietà fisiche dei minerali

CONDUCIBILITÀ ELETTRICA

- I minerali possono essere classificati in due gruppi: conduttori e non conduttori.
- Un conduttore è un materiale che contiene cariche elettriche mobili. È generalmente caratterizzato da un legame metallico.



PIROELETTRICITÀ

- Capacità di certi materiali di generare un potenziale elettrico quando vengono riscaldati o raffreddati.
- Come risultato di questo cambiamento di temperatura, le cariche positive e negative si spostano alle estremità opposte attraverso la migrazione (cioè il materiale diventa polarizzato) e quindi, si stabilisce un potenziale elettrico.
- Esempio: tormalina (per sensori passivi ad infrarossi, dispositivi elettronici che misurano la luce infrarossa che si irradia dagli oggetti).

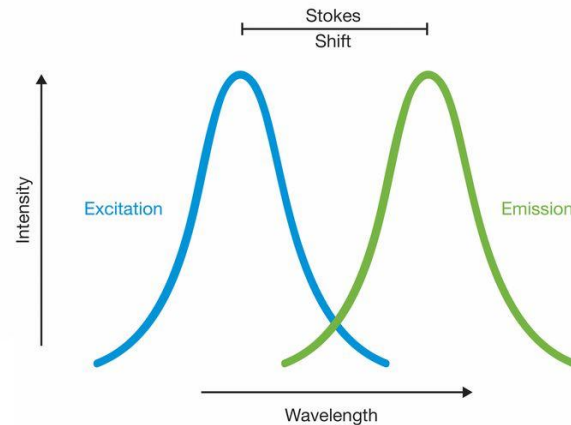
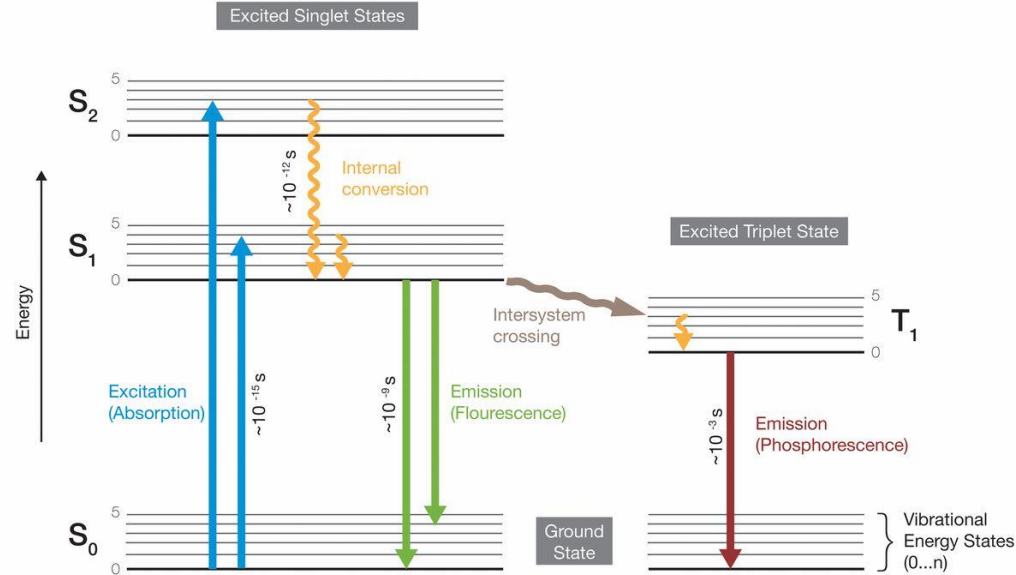


FLUORESCENZA

- proprietà di alcune sostanze di riemettere (nella maggior parte dei casi a lunghezza d'onda maggiore e quindi a energia minore) le radiazioni elettromagnetiche ricevute, in particolare di assorbire radiazioni nell'ultravioletto ed emetterla nel visibile.
- Una radiazione incidente eccita gli atomi della sostanza fluorescente, promuovendo un elettrone a un livello energetico (vedi orbitale) meno legato, più energetico e quindi più "esterno". Entro poche decine di nanosecondi, l'elettrone eccitato torna al livello precedente in due o più fasi, passando cioè per uno o più stati eccitati a energia intermedia. Tutti i decadimenti tranne uno sono, di solito, non radiativi, mentre l'ultimo emette luce a lunghezza d'onda maggiore rispetto alla radiazione incidente (non necessariamente nello spettro visibile).

Proprietà fisiche dei minerali

FLUORESCENZA



Proprietà fisiche dei minerali

FLUORESCENZA

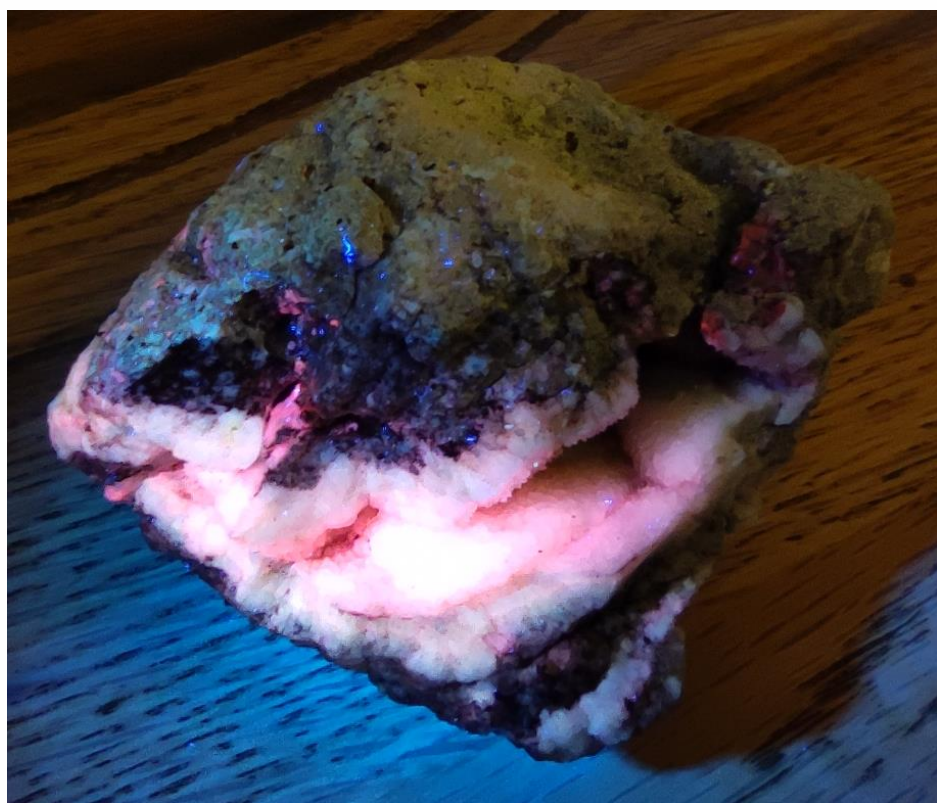
Rubino ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Cr}$): fluorescenza del Cr



Proprietà fisiche dei minerali

FLUORESCENZA

Aragonite ($\text{CaCO}_3:\text{Sr}$): fluorescenza dello Sr



Proprietà fisiche dei minerali

FLUORESCENZA

Calcite ($\text{CaCO}_3:\text{Mn}$): fluorescenza del Mn



Proprietà fisiche dei minerali

FLUORESCENZA

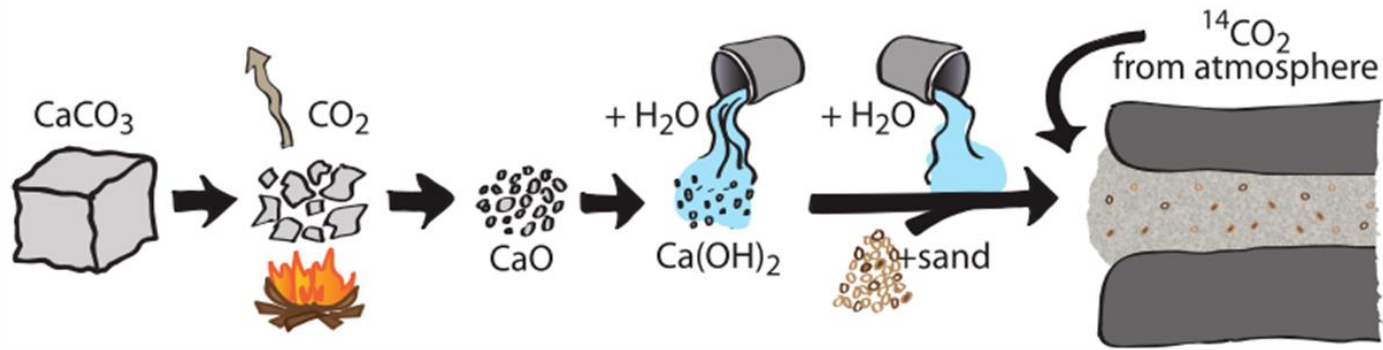
Malta di calce (CaCO_3 , precipitazione ad alto pH):
no incorporazione Mn, no fluorescenza



Proprietà fisiche dei minerali

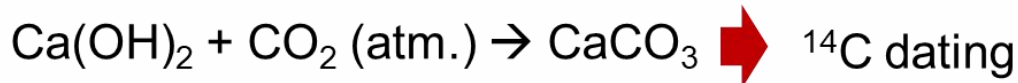
FLUORESCENZA

Applicazione: datazione malte antiche



drawing: Pia Sorock-Koota,
modified from Hale et al. 2003

Mortar hardens by the uptake of atmospheric CO_2



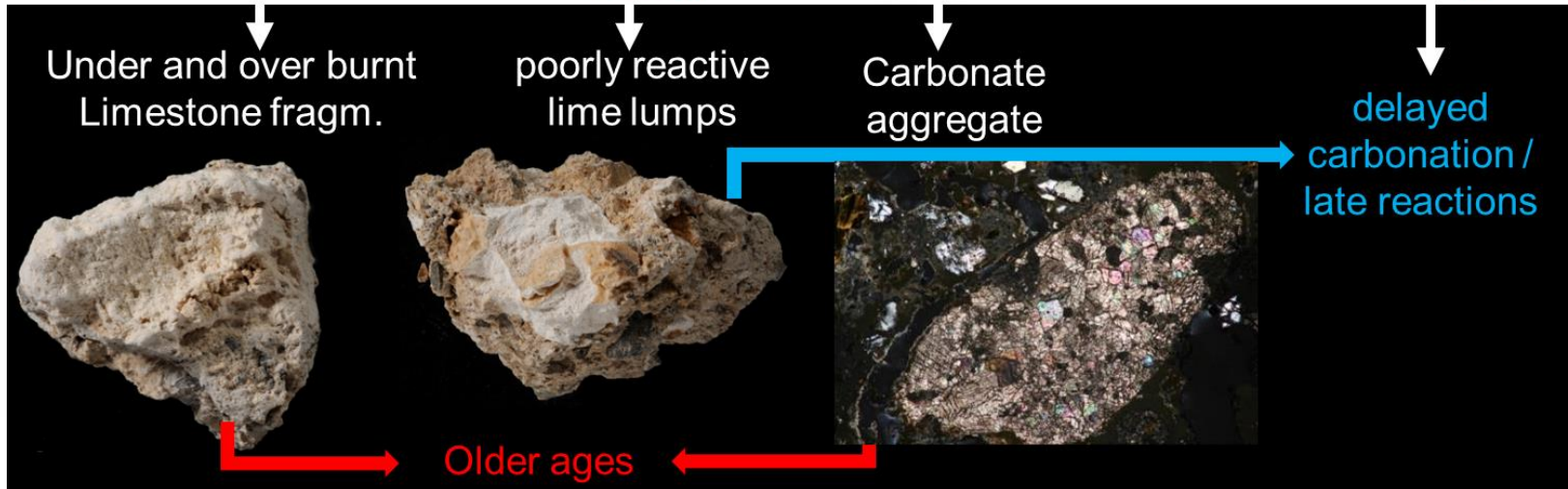
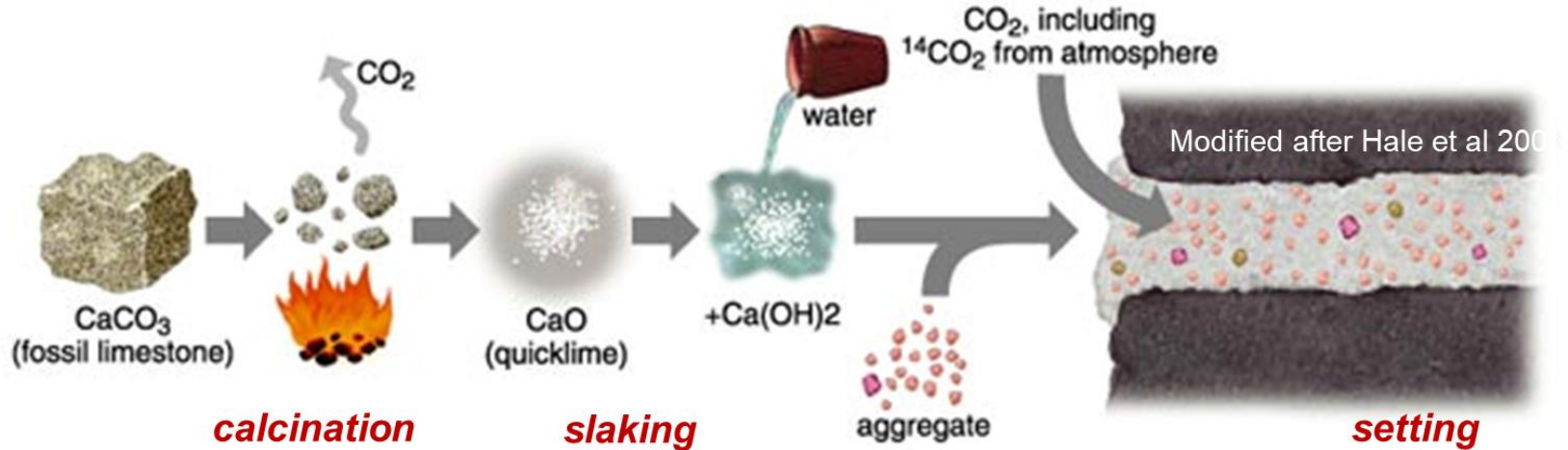
Radiocarbon signal is captured!



Proprietà fisiche dei minerali

FLUORESCENZA

Applicazione: datazione malte antiche



Proprietà fisiche dei minerali

FLUORESCENZA

Applicazione: datazione malte antiche

Radiocarbon, Vol 61, Nr 2, 2019, p 375–393

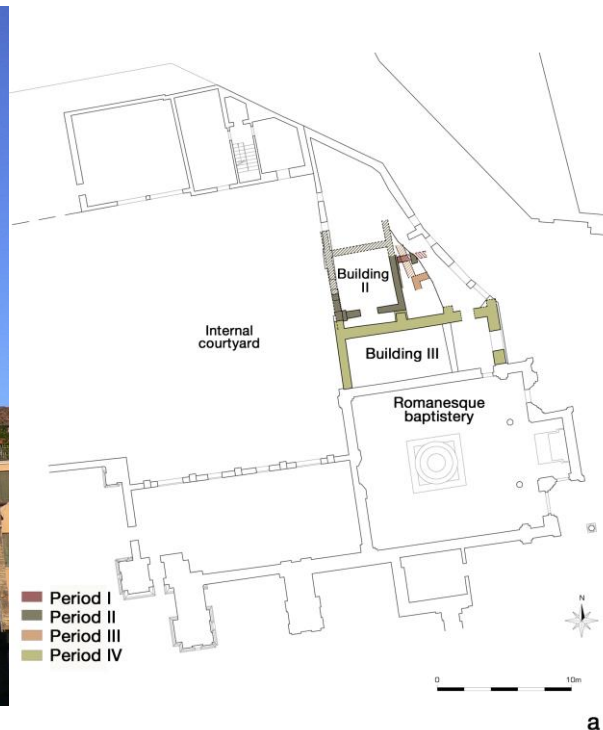
DOI:10.1017/RDC.2018.147

© 2019 by the Arizona Board of Regents on behalf of the University of Arizona

SELECTING THE MOST RELIABLE ^{14}C DATING MATERIAL INSIDE MORTARS: THE ORIGIN OF THE PADUA CATHEDRAL

Anna Addis^{1,2*} • Michele Secco^{2,3} • Fabio Marzaioli⁴ • Gilberto Artioli^{1,2} •

Alexandra Chavarria Arnau⁵ • Isabella Passariello⁶ • Filippo Terrasi^{4,6} • Gian Pietro Brogiolo⁵



a

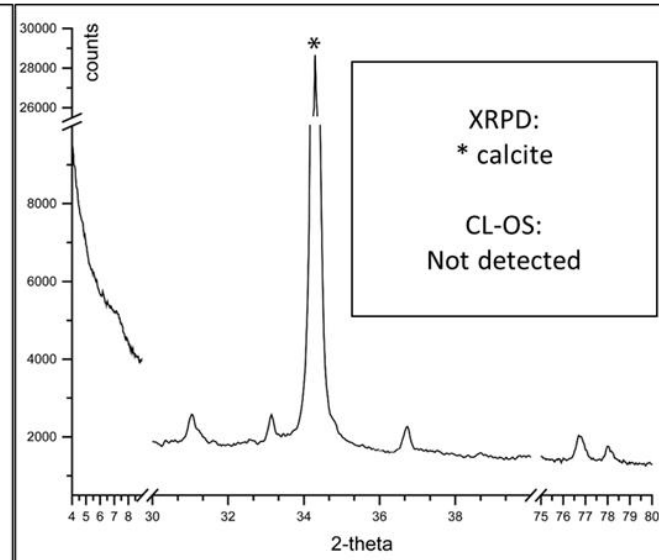
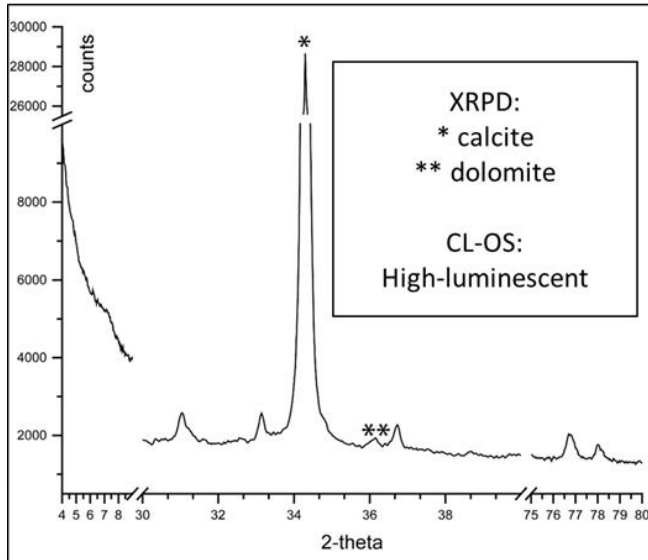
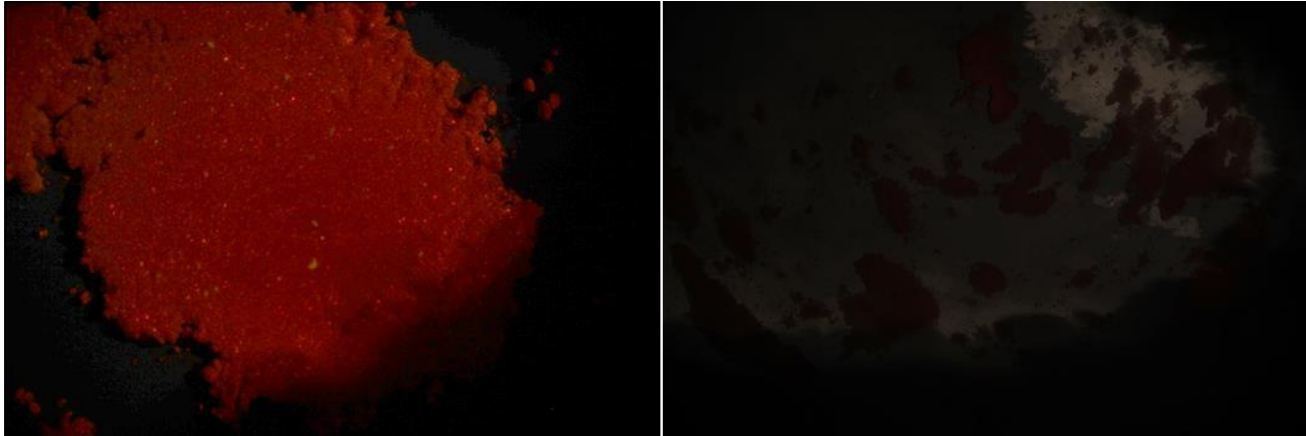
b

c

Proprietà fisiche dei minerali

FLUORESCENZA

Applicazione: datazione malte antiche



Proprietà fisiche dei minerali

FLUORESCENZA

Applicazione: datazione malte antiche

Material	Treatment	XRPD	CL	RA yr BP $\pm 1\sigma$	Cal. AD/BC age ranges (2σ)
purified binder	Cryo2Sonic	cc, dol	yes	2319 \pm 49	BC 537 - BC 349 (76.8%) BC 314 - BC 208 (23.2%)
purified binder	Cryo2Sonic v.2.0	cc	nd	1757 \pm 27	AD 219 - AD 359 (97.4%) AD 363 - AD 380 (2.6%)
charcoal	AAA	-	-	1746 \pm 23	AD 236 - AD 354 (97.3%) AD 367 - AD 379 (2.7%)

Isomorfismo

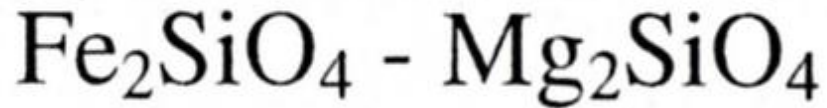
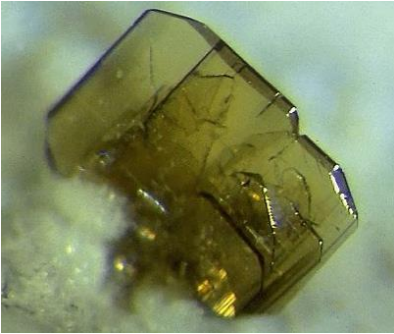
- Dal greco ἴσος, isos, che significa uguale, e μορφή, morphé, che significa forma.
- Fenomeno per cui due composti, aventi formula chimica analoga e analoga dimensione relativa degli ioni, cristallizzano nello stesso sistema e sono in grado di dare cristalli misti (cioè soluzioni solide) per la capacità degli ioni di scambiarsi tra loro all'interno del reticolo cristallino.

I minerali isomorfi sono caratterizzati da:

- a) formula cristallografica molto simile;
- b) reticolo cristallino molto simile;
- c) cristalli soluzione solida.

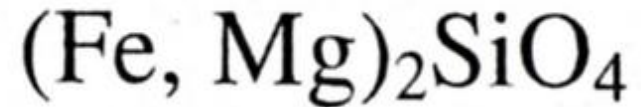


Isomorfismo



fayalite

forsterite



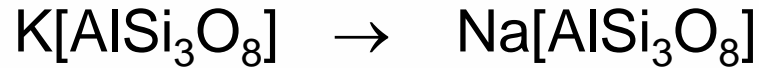
olivina

(cristalli soluzione solida
con colore intermedio)

Gli elementi che si sostituiscono (qui: Fe & Mg) sono
detti **elementi vicarianti**.

Isomorfismo

- Un altro esempio, con K^{1+} & Na^{1+} (feldspati alcalini) :



- L'isomorfismo funziona anche con vicarianti a differente carica:



in questo caso, l'eccesso di carica del Ca^{2+} (che sostituisce il K^{1+})

viene bilanciato da un'altra contemporanea sostituzione:

Al^{3+} per Si^{4+} .

Isomorfismo

La miscibilità dei due termini puri (end members) di una serie isomorfa di soluzione solida può essere:

a) Completa (fra i due termini puri)

(se i due end members possono mescolarsi in tutte le proporzioni)

Es.: il sistema s.s. olivina

La soluzione solida binaria fayalite-forsterite lungo la linea:



0.25

0.50

0.75

= Mg/(Mg+Fe)

i.e. gli end members Fa & Fo possono formare cristalli misti in tutte le proporzioni:

1%Fa 99%Fo; 2%Fa 98%Fo; (etc... !!!)...99%Fa 1%Fo

Isomorfismo

b) Parziale (di due end members)

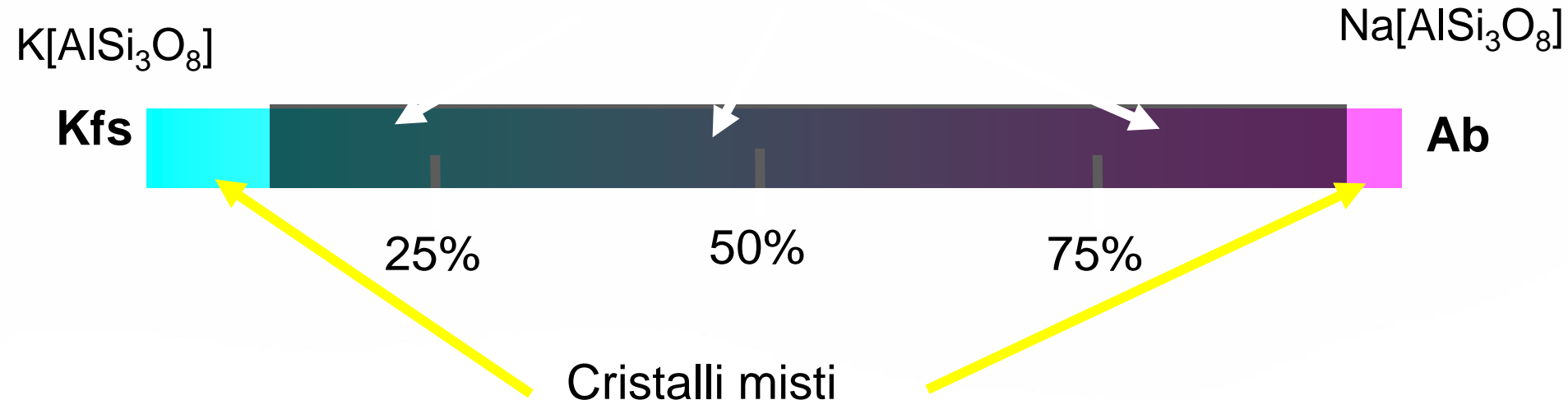
i.e. feldspati alcalini $K[AlSi_3O_8]$ (**Kfs**) \rightarrow $Na[AlSi_3O_8]$ (**Ab**)

I termini puri possono mescolarsi solo in determinate proporzioni.

Kfs può contenere solo $< 10\%$ of **Ab**

Ab può contenere solo $< 5\%$ of **Kfs**

Nessun cristallo misto



Polimorfismo

- Dal greco πολυμορφος, composto dai termini πολυ molto e μορφή forma quindi "avere molte forme".
- In mineralogia, significa che un singolo composto chimico può esistere in due o più minerali aventi differente struttura del reticolo cristallino.

Se il minerale polimorfo è soggetto a differenti valori di P e T la sua struttura cambierà in quella più stabile alle pertinenti condizioni.

Queste **variazioni** di struttura tra cristalli aventi la stessa composizione chimica si chiamano **trasformazioni polimorfe.**



Polimorfismo

Vi sono 3 forme di polimorfismo:

- *Polimorfismo distorsivo*: è una riorganizzazione strutturale meno drastica che non implica la rottura dei legami, pertanto necessita minor dispendio energetico; avviene istantaneamente ed è facilmente reversibile.
- *Polimorfismo ricostruttivo*: necessita molta energia poiché determina una completa riorganizzazione della struttura cristallina ed una evidente rottura dei legami presenti nel reticolo.
- *Polimorfismo ordine-disordine*: frequente nelle leghe metalliche, si presenta anche in alcuni minerali quali i feldspati (distribuzione più o meno ordinata di Al).

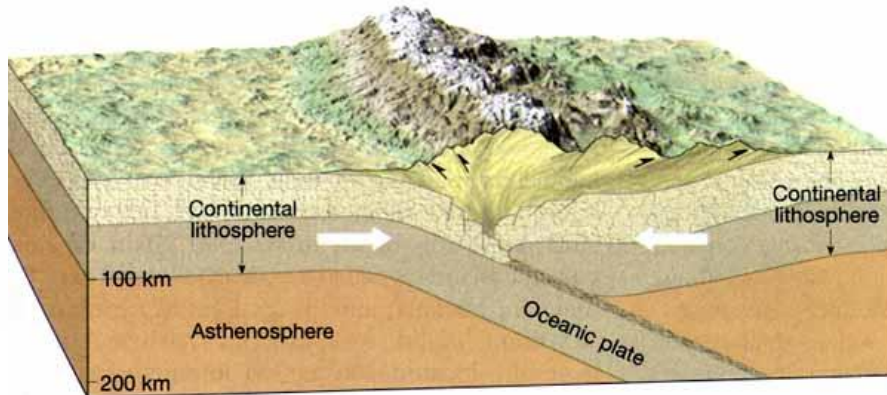
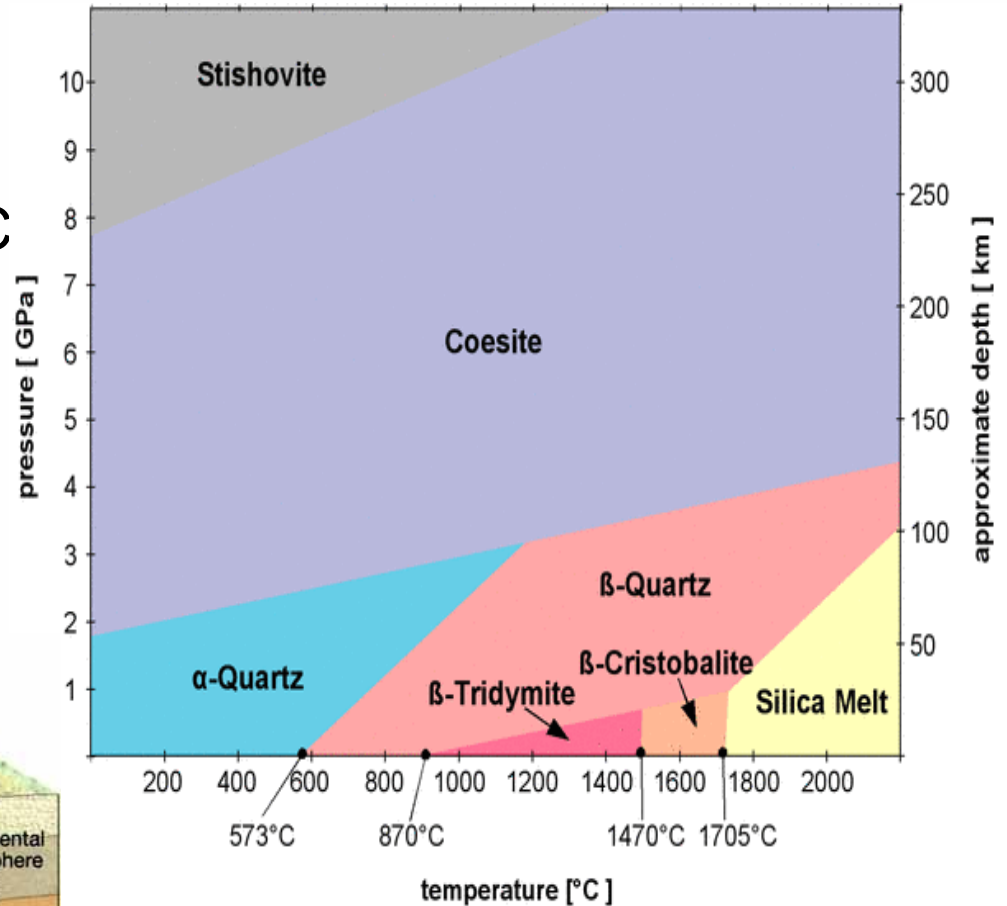
Alcuni importanti polimorfi:

- Silice (SiO_2)
- Al_2SiO_5
- K-feldspato
- CaCO_3
- C

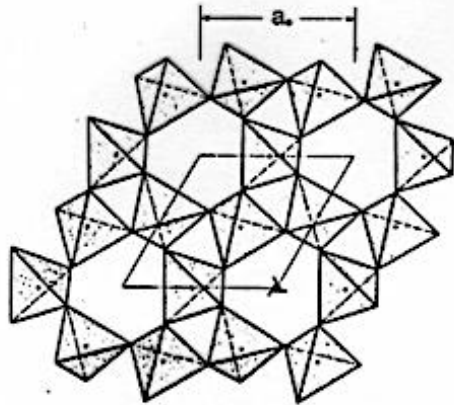
Polimorfismo

Polimorfi della silice: molti!! Grande range di densità!

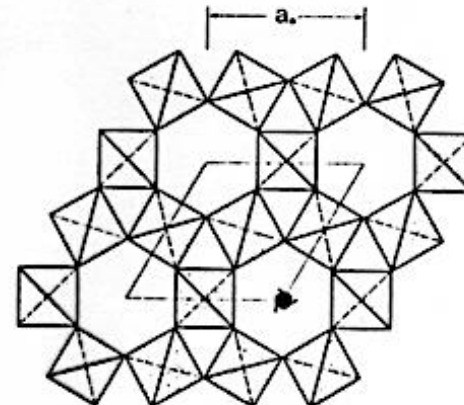
Polimorfo	Densità	Stabilità
Tridimite	2.28	> 870°C
Cristobalite	2.33	>1470° C
Quarzo β	2.53	>573°C
Quarzo α	2.65	Surface
Coesite	2.93	> 50 km
Stishovite	4.30	> 230 km



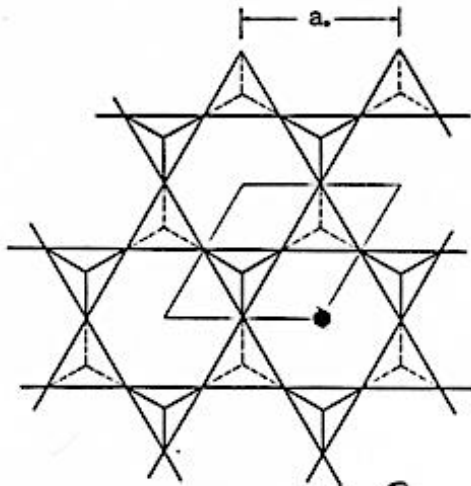
Polimorfismo



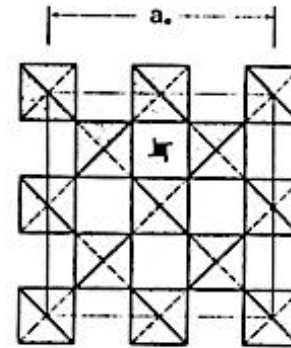
quarzo α *Trig.*
Fig. 197.2



quarzo β *Esag.*
Fig. 197.3



tridimite β *Esag.*
Fig. 197.4

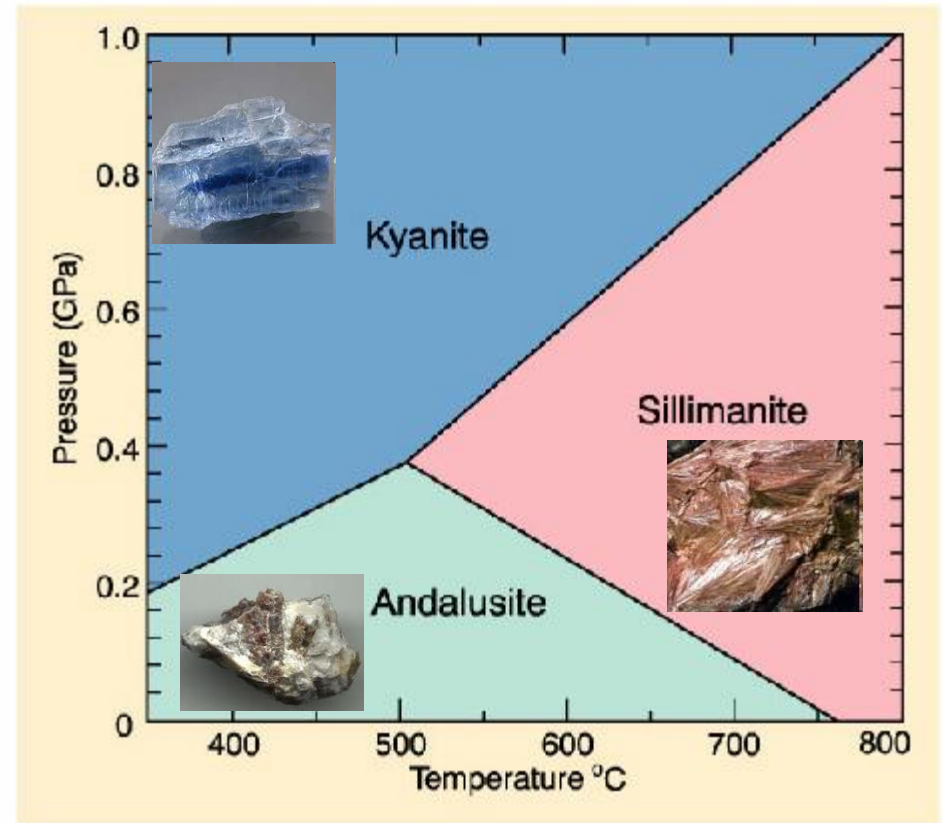


cristobalite β *Cubico*
Fig. 197.5

Polimorfismo

Al_2SiO_5 ha tre polimorfi

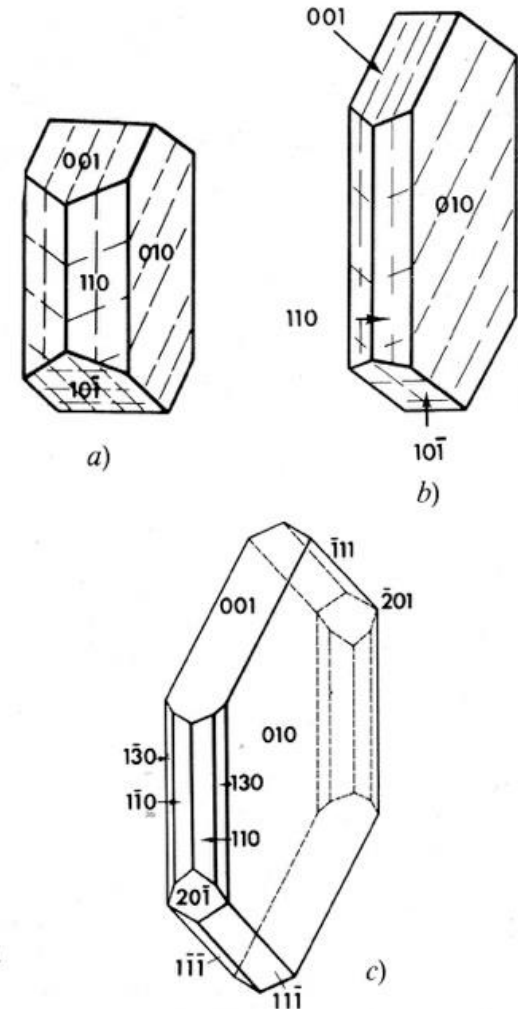
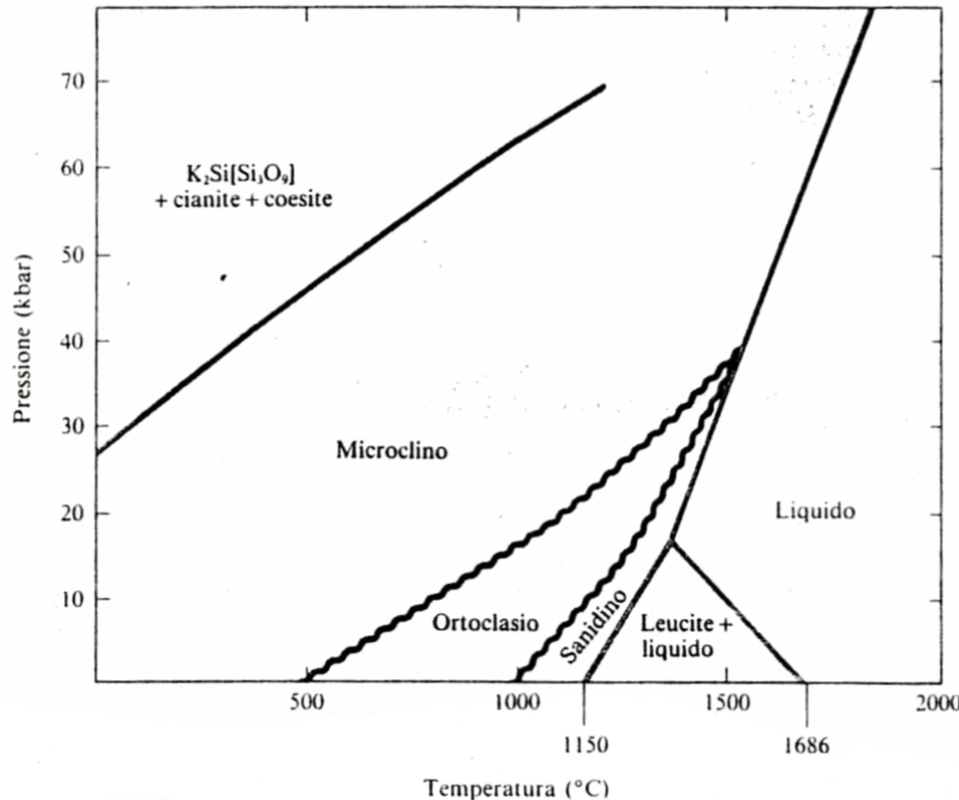
- polimorfo HP: **kyanite**;
- polimorfo HT: **sillimanite**;
- polimorfo LT-LP: **andalusite**.



Polimorfismo

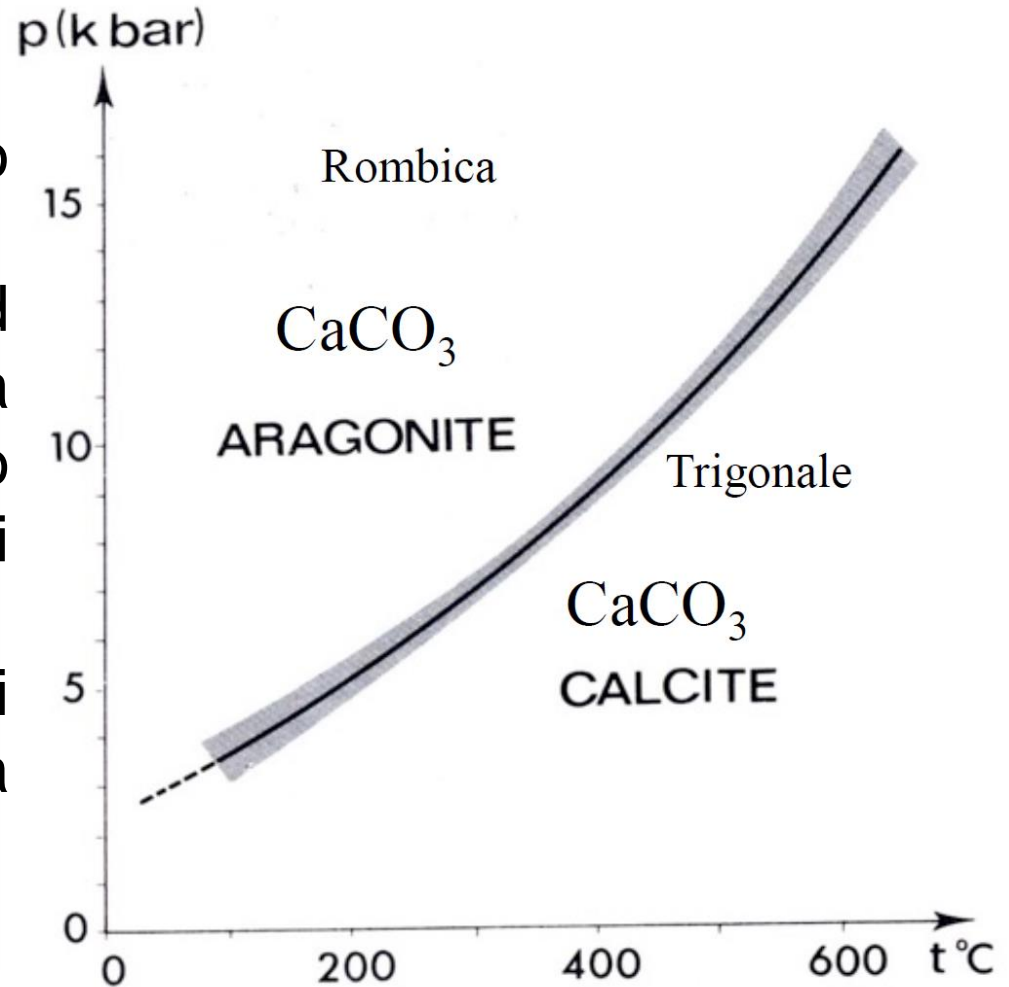
KAlSi_3O_8 ha tre polimorfi:

- a) Polimorfo MT: **ortoclasio** (monoclino);
 - b) polimorfo HT: **sanidino** (monoclino);
 - c) Polimorfo LT: **microclino** (triclino).
- Si rinviene solitamente nelle rocce effusive



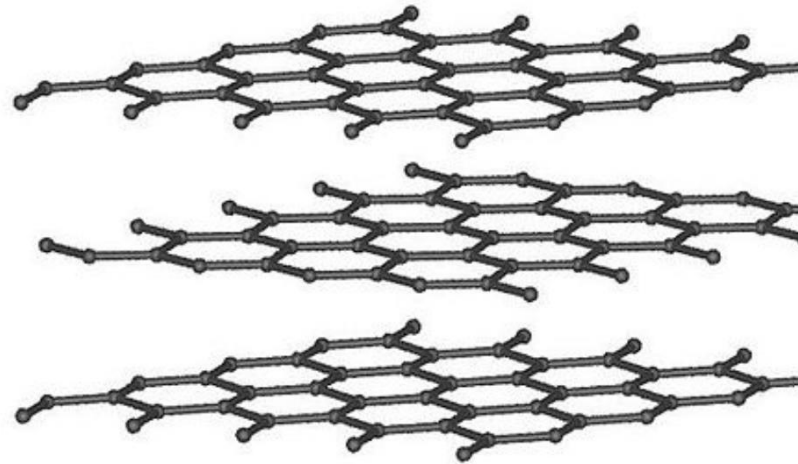
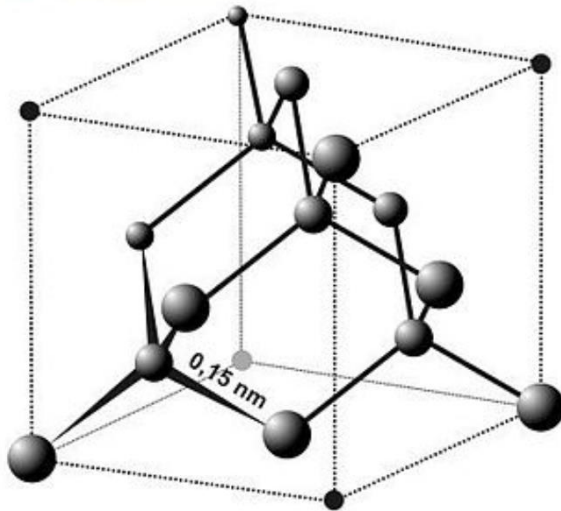
Polimorfismo

- **Calcite:** carbonato di calcio più comune.
- **Aragonite:** polimorfo ad alta pressione. Si forma anche come polimorfo metastabile in gusci di molluschi e perle.
- Ca^{2+} presenta due numeri di coordinazione : 6 nella calcite e 9 nell'aragonite.



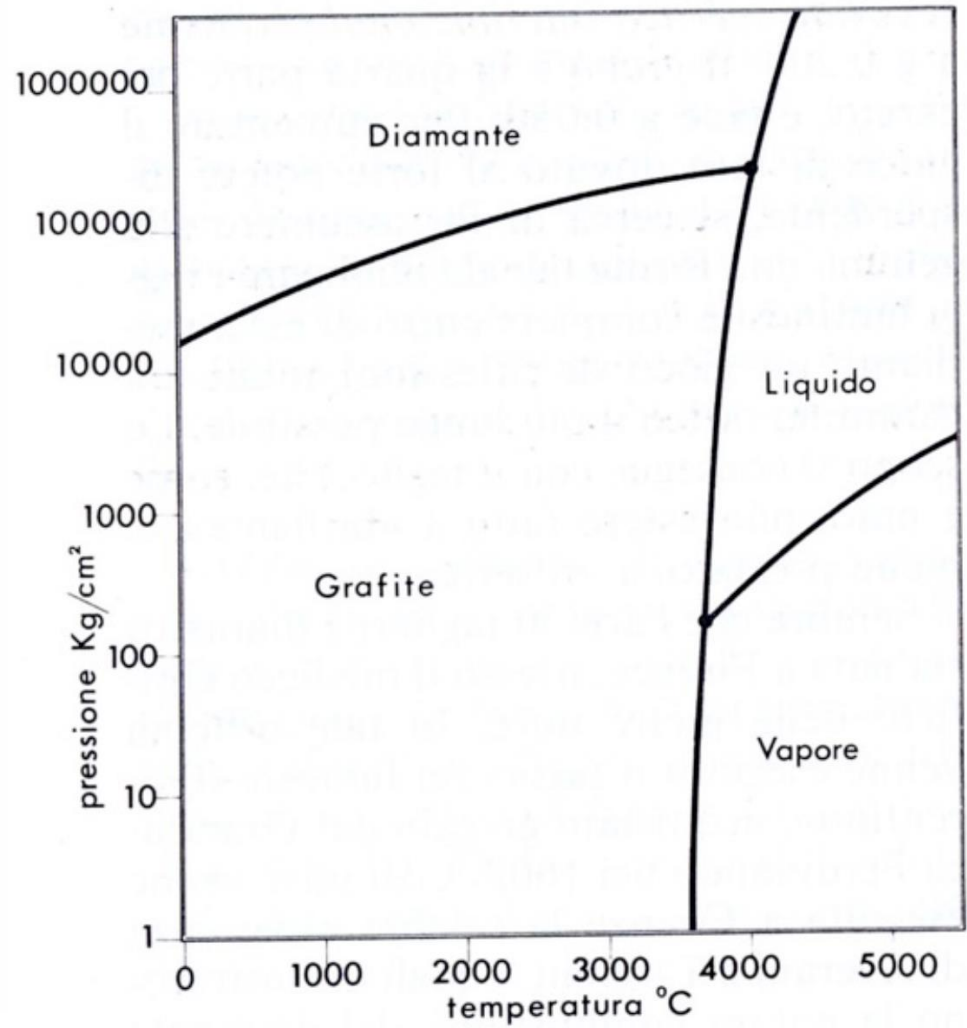
Polimorfismo

Diamante Grafite



Polimorfismo

- **Diamante:** ha un campo di stabilità molto ampio nelle regioni ad alta P e si estende alle alte T sino a valori massimi di 4000°C e 150 kbar.
- **Grafite:** è stabile in un ampio intervallo di T ma a P relativamente basse.



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