

# CRISTALLOFISICA

**La cristallografica studia le relazioni tra la struttura cristallina e le proprietà fisiche dei minerali**

**Proprietà fisica** = ogni risposta misurabile del materiale a qualche causa esterna.

**Causa  $\Leftrightarrow$  effetto**

Le proprietà fisiche dipendono da:

- composizione chimica
- tipo di legame chimico
- struttura cristallina**

**Spiegazione su scala atomica**



**comportamento a scala macroscopica**

**N.B. relazioni di simmetria distinguono i minerali dai liquidi e gas chimicamente equivalenti**

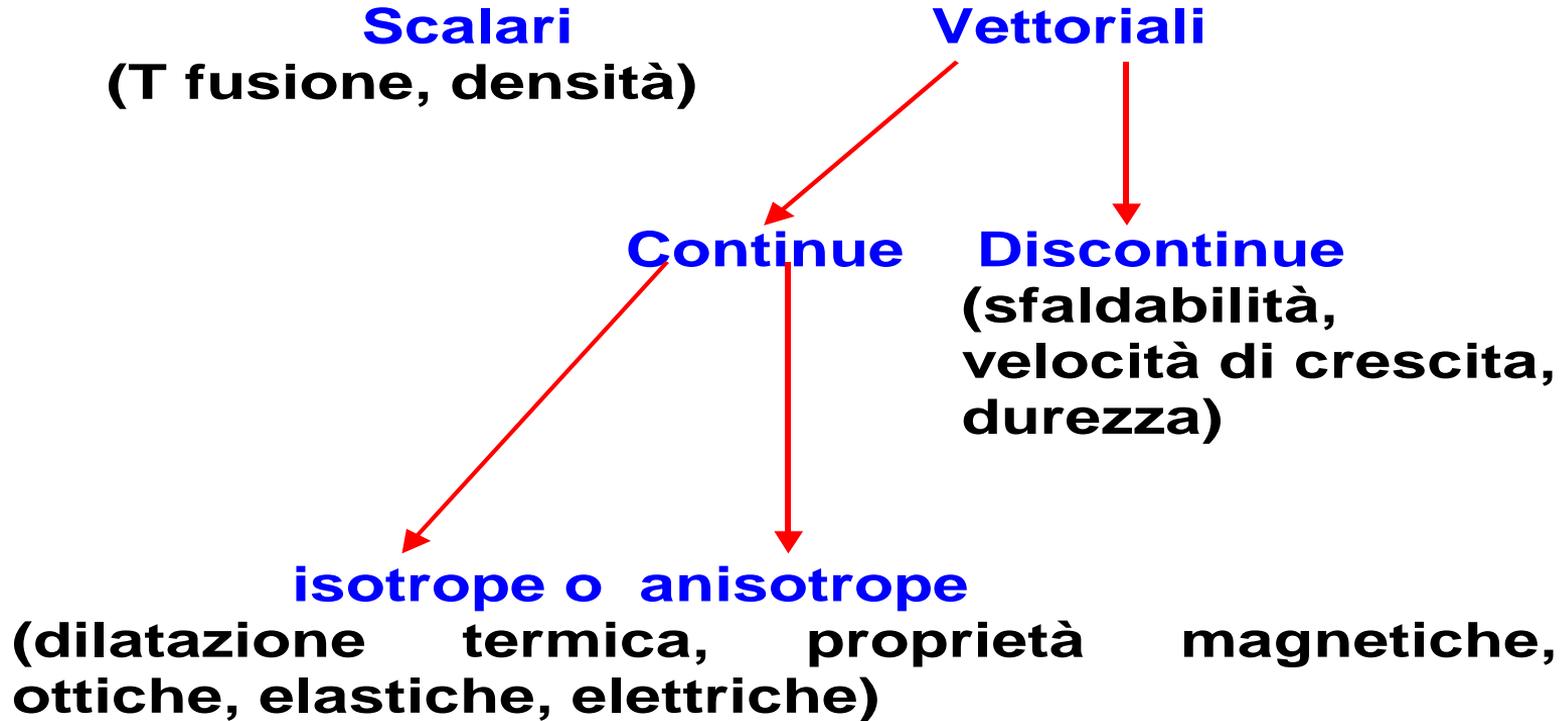
# **Perchè sono importanti le proprietà fisiche dei minerali?**

**1. Sono diagnostiche**

**2. La loro conoscenza permette  
l'eventuale utilizzo tecnologico del  
minerale**

**3. La conoscenza delle relazioni tra  
struttura e proprietà permette la  
sintesi di materiali nuovi con  
proprietà “finalizzate” o la modifica di  
materiali esistenti**

# Proprietà fisiche



Una proprietà vettoriale è **CONTINUA** quando, col variare della direzione, il vettore rappresentativo della grandezza varia in modulo con continuità, senza forti scarti, da una direzione ad un'altra immediatamente vicina.

Queste proprietà continue sono rappresentabili con **SUPERFICI AUSILIARIE**, ricavate raccordando tutte le estremità dei vettori nelle infinite direzioni.

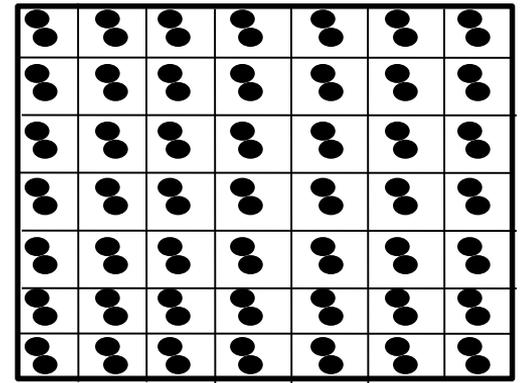
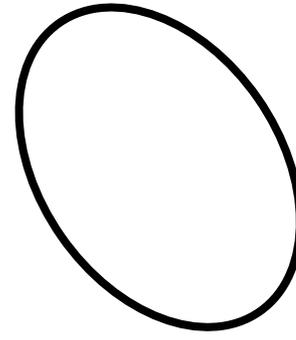
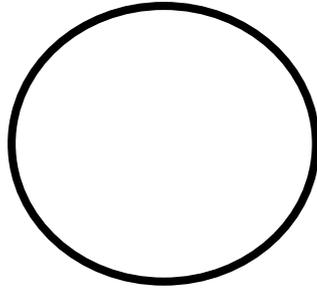
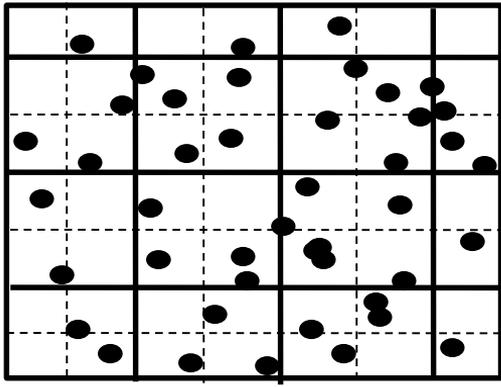
Queste superfici possono essere **SFERICHE** o **NON SFERICHE**.

Nel primo caso il mezzo sarà detto **ISOTROPO**, nel secondo caso **ANISOTROPO**.

**MEZZI ISOTROPI:** quelli in cui una certa proprietà fisica è uguale in tutte le direzioni.

**MEZZI ANISOTROPI:** quelli in cui una certa proprietà fisica è diversa nelle diverse direzioni.

La distribuzione omogenea periodica e tridimensionale degli atomi dei materiali cristallini (non cubici) determina la anisotropia delle proprietà fisiche di tali materiali.



## ISOTROPIA

statisticamente omogeneo

## ANISOTROPIA

periodicamente omogeneo

Un *cristallo* è un corpo anisotropo, omogeneo formato da una disposizione periodica di atomi, ioni, molecole

	densità (g/cm <sup>3</sup> )	espansione termica (10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	Indice di rifrazione
SiO <sub>2</sub> , quarzo	2.65	a <sub>1</sub> = 13 a <sub>3</sub> = 8	n <sub>1</sub> = 1.553 n <sub>3</sub> = 1.544
SiO <sub>2</sub> , vetro	2.20	0.5	1.459

Le proprietà **DISCONTINUE** non sono rappresentabili con superfici di raccordo, ma piuttosto con direzioni di piani o di rette secondo le quali il fattore di intensità assume bruscamente valori massimi o minimi.

Le proprietà discontinue sono tipiche dello **stato cristallino** in quanto sono quelle che più direttamente risentono della natura reticolare della sostanza.

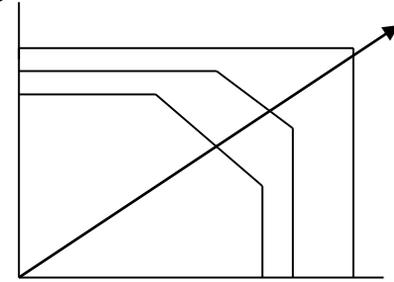
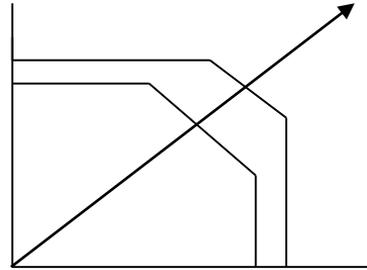
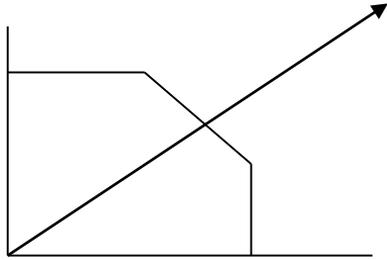
# **CRESCITA CRISTALLINA**

Immaginiamo un cristallo di forma sferica posto in una soluzione satura: via via che il solvente evapora il cristallo cresce, ma non mantiene la forma sferica (come dovrebbe se la velocità di accrescimento fosse uguale in tutte le direzioni); esso tende ad assumere la forma di un solido geometrico delimitato da **facce piane, spigoli e vertici (paralleli a piani e filari reticolari)**.

Infatti, **la velocità di accrescimento in direzione normale alle facce è più bassa di quanto non lo sia nella direzione normale a uno spigolo o in quelle lungo le quali si manifestano i vertici (dove c'è maggior disponibilità degli atomi per legami chimici con altri atomi)**.

# Le facce a più alta velocità di accrescimento tendono a sparire.

La freccia indica la direzione di massima velocità di crescita. In quella direzione la forma finale del cristallo non mostra facce, ma spigoli.



Crescita in tempi successivi



Ottaedro e cubo

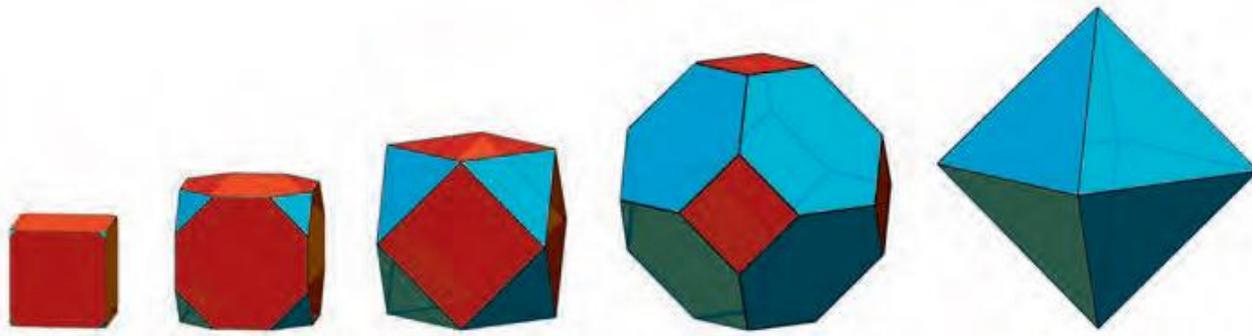
Facce (111) e (100)



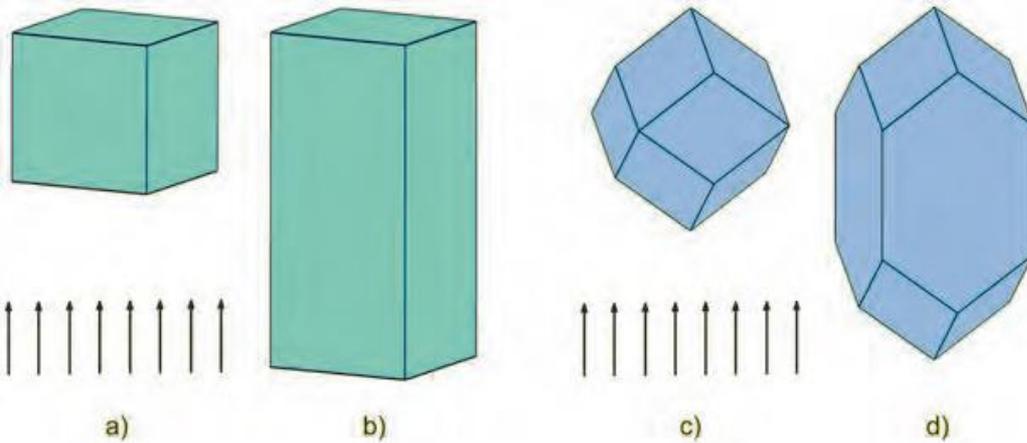
La faccia (111) sta  
scomparendo



Cubo, rimane  
solo la faccia  
(100)



Un cristallo di allume di potassio, sagomato in modo da ottenere un cubo, crescendo passerà gradualmente dal cubo (a sinistra), al cubottaedro (in centro) per arrivare infine all'ottaedro (a destra). La variazione della morfologia è causata dalla minore velocità di crescita delle facce dell'ottaedro rispetto a quelle del cubo.

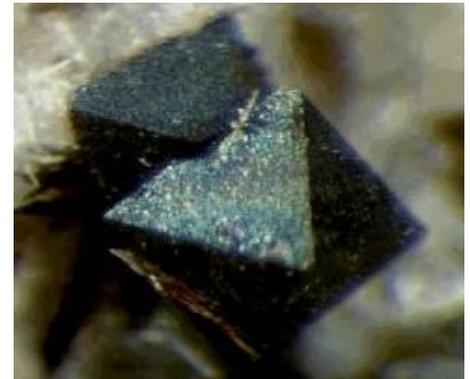
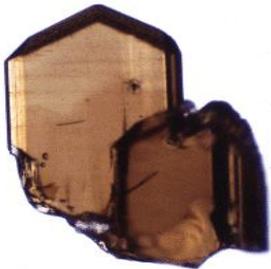


Morfologie di crescita cubica a) e rombododecaedrica c) ideali. Le stesse morfologie sono distorte (b) e (d) a causa di un apporto ineguale di soluto nelle diverse direzioni, in particolare con un flusso di nutriente proveniente dal basso (a) e (c) che origina un'apparente simmetria tetragonale dei cristalli. Ma la misura degli angoli diedri dimostra che sono forme del sistema cubico distorte

**Forma o morfologia:** espressione dell'arrangiamento simmetrico degli atomi in una certa struttura. Dipende dalla velocità di accrescimento delle facce.

Lo studio della morfologia cristallina fornisce una stima degli elementi di simmetria (esclusa la traslazione) riconoscibili direttamente sul campione e ne consente l'attribuzione ad un determinato sistema cristallino:

- è determinabile su cristalli ben formati;
- sono fondamentali gli angoli tra le facce e non la forma e la dimensione relativa delle facce (vedi esempio precedente).

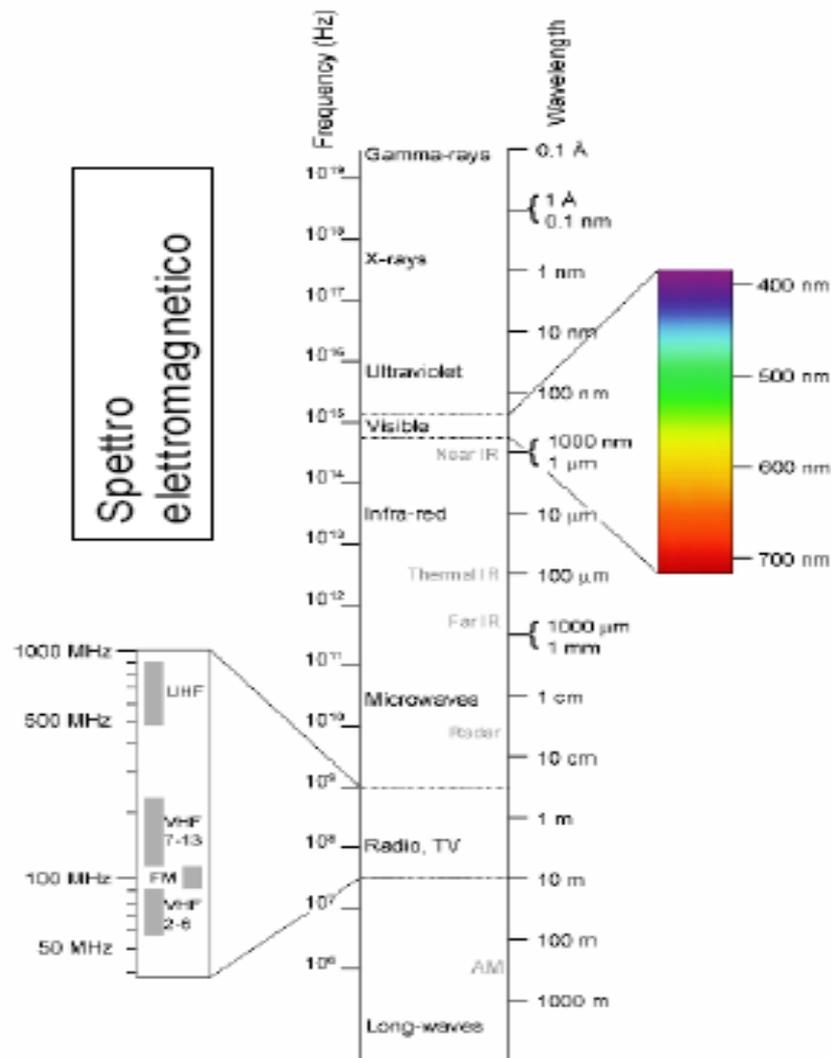


**COLORE**

# Colore

Il colore è la risposta dell'occhio alla parte visibile dello spettro elettromagnetico.

La luce visibile copre un intervallo di lunghezze d'onda compreso fra 350 e 750 nanometri ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ).

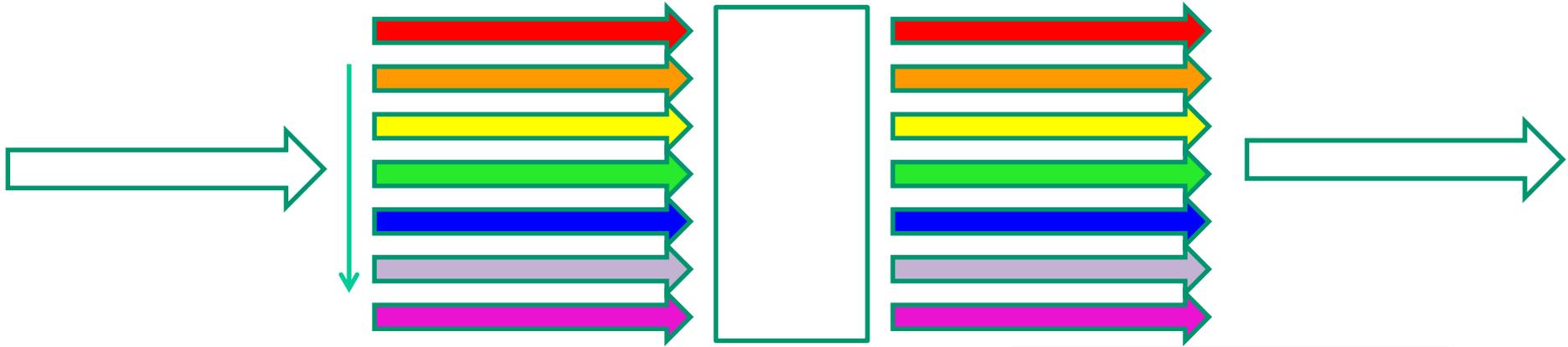


# Colore

Luce = radiazione  
elettromagnetica. Lo spettro  
visibile 350nm (violetto)-750nm  
(rosso). Tutte le lunghezze  
d'onda sopra o sotto questi  
valori sono invisibili.



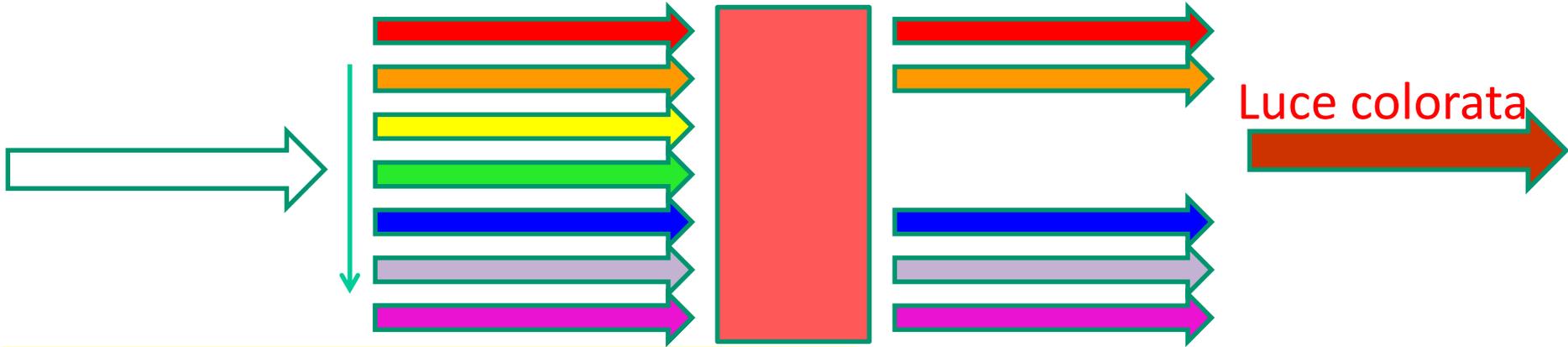
# Colore:



Quando la **luce bianca** viene trasmessa attraverso un cristallo **senza assorbimento alcuno**, il cristallo appare **trasparente** ed **incolore**.



# Colore:



Se dalla **luce bianca** alcune lunghezze d'onda vengono preferenzialmente **assorbite**, il cristallo appare **COLORATO**.

Il **colore percepito** è quello che risulta dalla **combinazione delle lunghezze d'onda rimanenti** (cioè quelle trasmesse)

Rubino  
( $\text{Al}_2\text{O}_3$  con impurezze di  $\text{Cr}^{3+}$ )



# CAUSE DEL COLORE NEI MINERALI

**-Assorbimento selettivo** di alcune componenti dello spettro visibile e trasmissione delle altre  $\Rightarrow$  colore. Causa: Ioni metallici dispersi.

Assorbimento di energia utilizzata per transizioni elettroniche. I minerali a legami prevalentemente ionici, in genere, sono incolori quando gli ioni hanno una configurazione tipo gas nobile, in quanto il salto energetico fra un orbitale  $p$  e il più vicino orbitale non occupato è molto più grande dell'energia dei fotoni della luce visibile.

I minerali che contengono metalli di transizione sono colorati in quanto, pur avendo gli orbitali  $d$  teoricamente la stessa energia, occorre tener presente gli effetti della struttura cristallina (teoria del campo cristallino). Infatti tra gli orbitali  $d$  le differenze di energia possono essere dovute ad es. alla disposizione tetraedrica o ottaedrica dei leganti, ovvero alla sua coordinazione, allo stato di valenza, alla natura degli ioni vicini e alle distanze di legame. Tali differenze di energia sono dell'ordine di grandezza dell'energia dei fotoni visibili che possono quindi essere assorbiti.

Es. il rubino (corindone  $\text{Al}_2\text{O}_3$  rosso) e lo smeraldo (berillo  $\text{Al}_2\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$  verde) devono entrambe il loro colore a  $\text{Cr}^{3+}$  in coordinazione ottaedrica, ma nel corindone le distanze medie Cr-O sono più corte, quindi si ha una diversa posizione della banda di assorbimento.

**Elementi della prima serie di transizione (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu) danno colore ai **MINERALI IDIOCROMATICI**. Quelli della seconda e terza serie e le terre rare sono troppo poco abbondanti nei minerali per impartire un colore.**

**-Centri di colore** dovuti a elettroni presenti in lacune (in  $\text{CaF}_2$  posizioni del  $\text{F}^{-1}$  vacanti occupate da elettroni) o a elettroni mancanti in certe posizioni normalmente occupate da paia elettroniche (nel quarzo affumicato, radiazioni X o  $\gamma$  hanno allontanato un  $e^-$  del paio associato al legame Si-O, per riscaldamento si elimina l'effetto). **MINERALI ALLOCROMATICI**

**-Teoria della banda.** Nei minerali con legami metallici (metalli, conduttori elettrici) e covalenti (solfuri semiconduttori) gli elettroni sono delocalizzati in tutto il cristallo su livelli di energia molto vicini (semiconduttori) o coincidenti (conduttori). Se la differenza di energia tra i livelli è minore di tutte le energie del visibile, tutto lo spettro è assorbito e il minerale appare nero e opaco, non trasmette la luce. I metalli hanno riflesso metallico perchè gli elettroni rapidamente ritornano al loro livello di energia originale emettendo la stessa energia assorbita. Se alcune energie sono assorbite (emesse) con maggior efficienza si produce un diverso colore (oro, platino).

Nel caso del cinabro ( $\text{HgS}$  rosso violaceo) la differenza di energia è minore dell'E della luce violetta, quindi la parte delle alte energie è assorbita lasciando passare il rosso.

**- Effetto fisico:** diffusione della luce dovuta a fini particelle presenti nel minerale. Es: opalescenza, occhio di tigre.

# COLORE DEI MINERALI

Bisogna sfatare la convinzione comune che lega certi colori alla presenza di atomi particolari:

es. blu-verde: Cu; blu-cobalto: Co; rosso-verde: Cr

In realtà il solo il  $\text{Cu}^{2+}$  conferisce il colore verde-azzurro, mentre la cuprite ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) è rossa.

Inoltre, lo stesso colore può essere generato da meccanismi diversi. Ad es. il colore blu può essere dovuto a:

- Co in tracce (spinello blu)
- centro di colore (berillo irradiato)
- trasferimento di carica Fe-Ti (zaffiro blu/corindone)
- effetti di interferenza ottica (opale)



# Colore:

Lo stesso colore può essere generato da meccanismi diversi.

Ad es. il colore blu può essere dovuto a:

- Co in tracce (spinello blu)
- trasferimento di carica Fe-Ti (zaffiro blu)
- effetti di interferenza ottica (opale)



## Viceversa

Lo stesso elemento può generare colori diversi



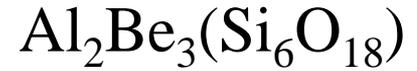
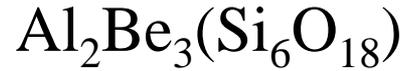
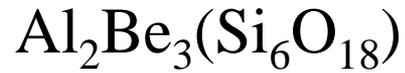
Cromo in spinello: ROSSO

La stessa  
impurezza può  
dare colori diversi  
in minerali diversi:

**Cromo**



Cromo in berillo: VERDE

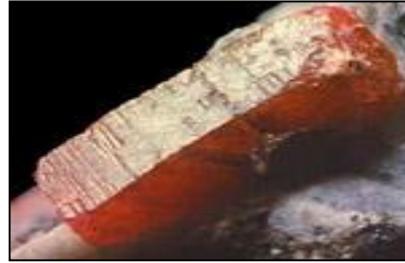


Campioni di BERILLO aventi colorazioni diverse, dovute alla presenza di elementi in traccia diversi

Malachite



rubino



quarzo ametista



Il colore del rubino è conferito dalla presenza di tracce di cromo

Ametista per tracce di Fe e/o difetti

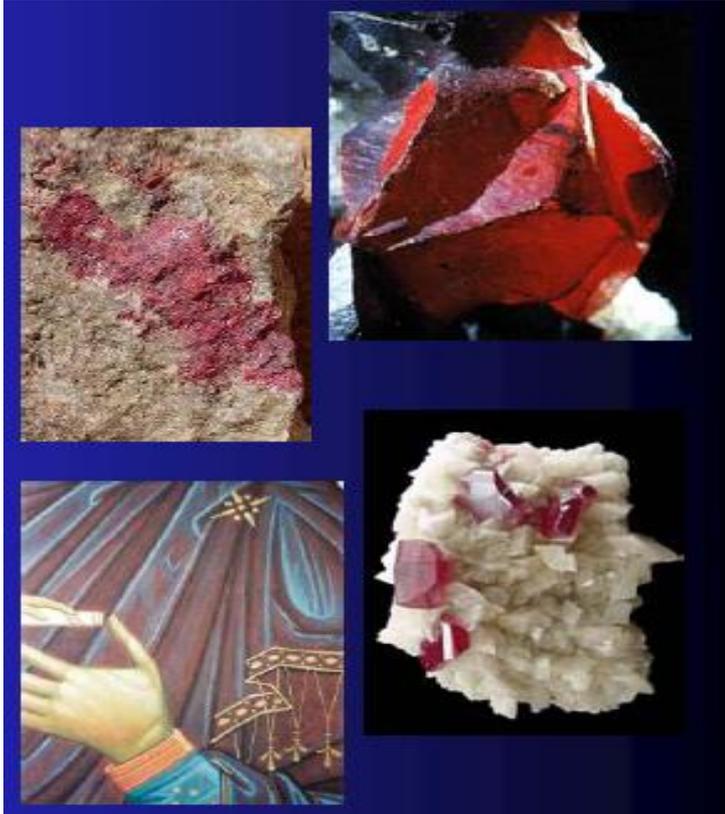
# Gli artisti del Paleolitico usavano minerali come pigmenti....



**Rosso:** ematite o ocra rossa (ossidi di ferro)

**Nero:** carbone o ossido di manganese

.... E anche in epoca storica sono stati spesso usati in virtù del loro colore



***Cinnabar HgS***



**Lucentezza o Riflesso**

Con il termine lucentezza (o splendore) si intende l'aspetto che assume la superficie di un minerale quando viene illuminata da luce visibile (ri-emissione di luce incidente sulla superficie).

In generale, i tipi di lucentezza osservabili sono due:

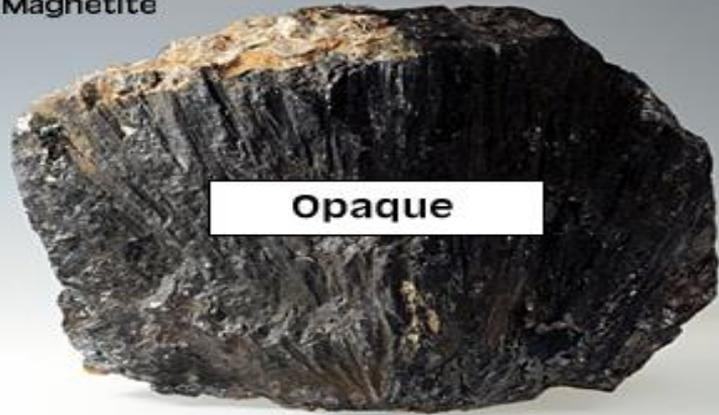
**metallica**

**non metallica (vitrea)**

La lucentezza metallica è quella tipica delle superfici di metalli come cromo, acciaio, rame, oro. Questi materiali sono infatti opachi alla luce e non si lasciano attraversare neanche se sono in spessori molto sottili, ma sono molto splendenti.

I minerali non metallici, invece, sono quelli che si lasciano attraversare (seppur in modo variabile) dalla luce.

Magnetite



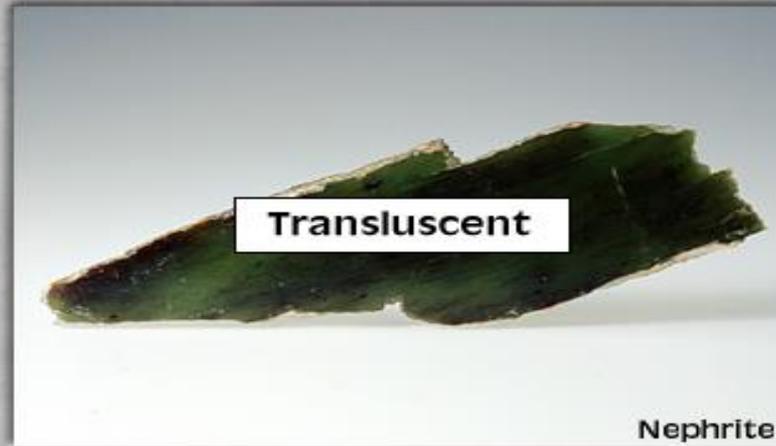
Opaque



Transparent

Aquamarine

The **diaphaneity** of a mineral is its ability to transmit light.



Translucent

Nephrite



Actinolite, amphibole  $\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

Hanno lucentezza  
metallica gli elementi  
nativi di tipo  
metallico ed alcuni  
solfuri...

Argento



Pirite



Oro



Rame



Antimonite



Galena



...Mentre per i minerali non-metallici vengono utilizzati altri termini per descrivere ulteriormente la loro lucentezza.

**Sub-metallica** (es. biotite)



**Vitrea**  
(es. Silicati,  
quarzo,  
carbonati)



**Adamantina**  
(es. diamante,  
zirconio)

**Grassa o  
untuosa**  
(es. salgemma)



## **Sericea**

(es. calcedonio, asbesti)



## **Resinosa**

(es. zolfo, sfalerite)

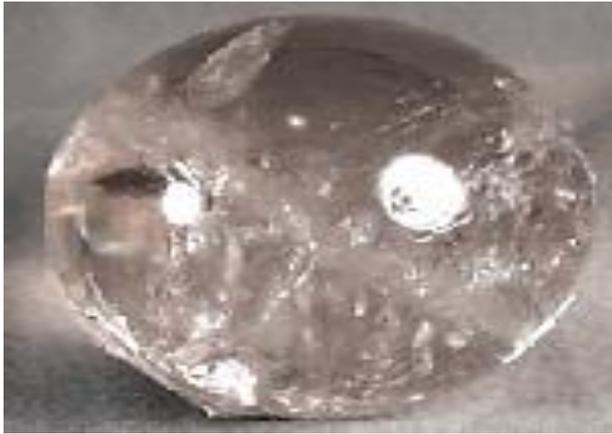


## **Perlacea** (es. muscovite)



## **Terrosa** (es. masse finissime di calcite, gesso)





Amblygonite



quartz



**Aspetto vitreo**



**L'opale mostra un gioco  
di colori**



**Lustro RESINOSO:** conferisce un aspetto al minerale che ricorda quello della superficie di una candela



Smithsonite

***Resinous, pitchy, or waxy*** minerals resemble the surface of a wax candle.



# Minerali pulverulenti

Kaolinite



Illite



***Earthy*** minerals resemble dirt or clay.

Il lustro **GRASSO** sembra uno strato di olio sulla superficie del minerale



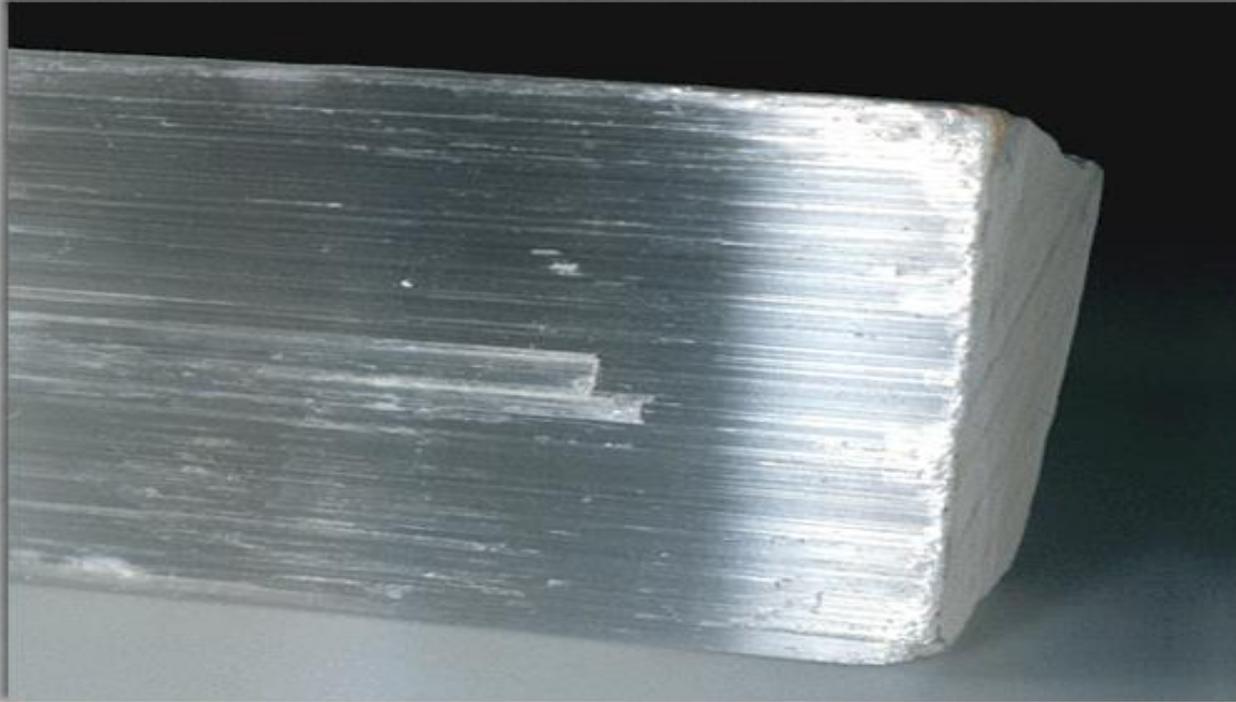
Talc



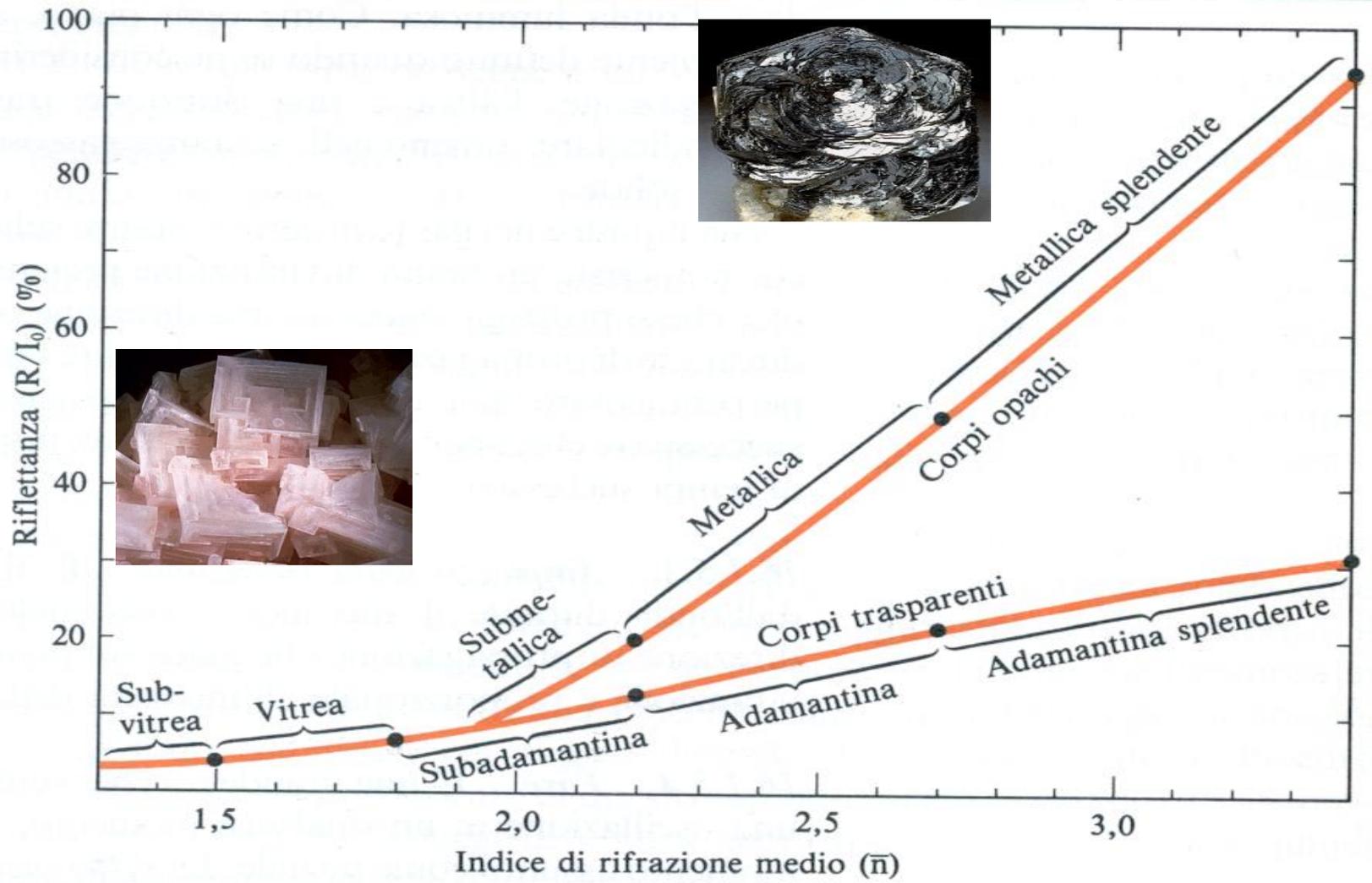
**Greasy** luster resembles a thin coating of oil on the surface of a mineral.

Lustro **SERICEO**: ricorda la brillantezza della seta

Gypsum



A mineral that has **silky** luster resembles the shine of a piece of silk.



**MINERALI OPACHI:** legami metallici o semi-metallici

**MINERALI TRASPARENTI:** legami ionico-covalenti

**LUSTRO/RIFLESSO METALLICO:** legato alla presenza di elettroni liberi derivanti da legami metallici

**Pleocroismo:** proprietà dei minerali che mostrano diverso colore a seconda della direzione sotto cui sono osservati



Chiaramente visibile al microscopio da mineralogia (vedi Ottica)

# **COLORE DELLA POLVERE**

**Colore della polvere o striscio: lo striscio è il colore del minerale nella sua forma pulverulenta**

**Minerali opachi  $\Rightarrow$  polvere nera (eccezione Ematite con polvere rosso bruna)**

**Minerali trasparenti  $\Rightarrow$  polvere bianca o colore più tenue del minerale.**

**Ematite**



**ABITO CRISTALLINO**

Esistono termini che descrivono lo sviluppo delle facce esterne di un cristallo :

*Euedrale, Subedrale, Anedrale*

**-Euedrale:** descrive un cristallo completamente delimitato da facce piane la cui crescita non è stata disturbata da cristalli adiacenti.

**-Subedrale:** descrive un cristallo in parte delimitato da facce piane e in parte da superfici di contatto con altri cristalli già esistenti.

**-Anedrale:** descrive un cristallo privo di facce piane.

**Abito:** termine usato per descrivere forme di cristalli o più spesso di aggregati cristallini (tabulare, prismatico, dendritico, mammellonare, oolitico, aciculare, foliato, granulare).





Abito cubico



Abito ottaedrico



Abito prismatico



Abito piramidale



## Alcuni esempi: abito prismatico o colonnare

Cristalli allungati con facce simili e parallele ad una direzione comune  
(es. tormalina, apatite, berillo)



# Abito tabulare e lanceolato

Cristalli piuttosto piatti ma di spessore evidente e con contorno pseudo-rettangolare o quadrato (es. barite, brookite, epidoto, heulandite). Quando i cristalli appaiono come lame o lance appiattite l'abito si dice lanceolato.

Wulfenite



Barite



Barite



Pseudobrookite



Albite



Brookite



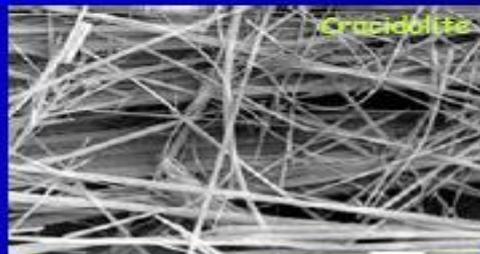
# Abito lamellare, micaceo o foliato

Cristalli fortemente appiattiti, a volte flessibili e sottili come una foglia, caratteristici dei minerali del gruppo delle miche (es. muscovite, biotite)



# Abito fibroso

Cristalli fortemente allungati con un elevato rapporto lunghezza/diametro (es. crisotilo, crocidolite, erionite)



# Abito fibroso-raggiato

Cristalli allungati e divergenti da un nucleo comune (es. zeoliti, tremolite, talco, tormalina)



# Abito mammellonare o reniforme

Con una forma esterna costituita da protuberanze piuttosto ampie ed arrotondate (es. ematite, malachite, goethite)



# Abito botroidale

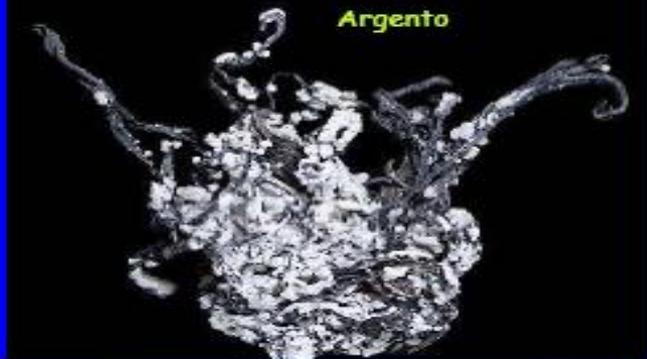
Con protuberanze arrotondate ma più piccole di quelle descritte come mammellonari o reniformi; simili a grappoli d'uva (es. smithsonite, calcidonio, prehnite)

# Abito dendritico, arborescente e coralloide

Cristalli che mostrano una crescita con diramazioni successive e formano aggregati ramificati e sottili (es. argento, pirolusite, manganese, aragonite)



Argento



Hematite



Pyrolusite



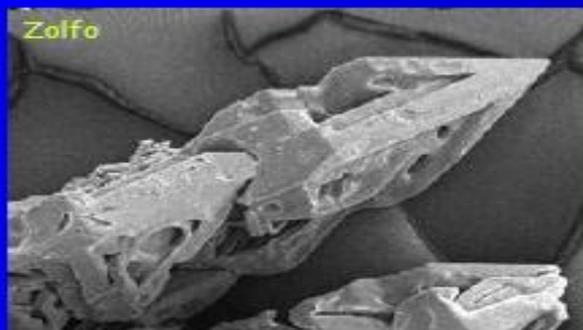
Oro



Aragonite

# Abito scheletrico

Sono morfologie legate a condizione di crescita molto particolari nelle quali i minerali si sviluppano in aggregati di cristalli lunghi e sottili, spesso secondo direzioni controllate dai caratteri cristallografici (es. quarzo, zolfo, ematite, olivina)



**Temperatura di fusione:** dipende dalla forza dei legami interatomici (alta per legami covalenti e ionici, bassa per legame metallico e Van der Waals). Proprietà continua e isotropa

<i>Minerale</i>	<i>Formula</i>	<i>p.f. (°C)</i>
Galena	PbS	1114
Albite	Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	1118
Pirite	FeS <sub>2</sub> -α	1171
Molibdenite	MoS <sub>2</sub>	1185
Troilite	FeS	1193
Fayalite	Fe <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ]	1205
Diopside	CaMg[Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ]	1391,5(*)
Wollastonite	Ca[SiO <sub>3</sub> ]	1544,0(*)
Ematite	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1565
Magnetite	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	1597
Cristobalite-β	SiO <sub>2</sub>	1713
Platino	Pt	1772
Rutilo	TiO <sub>2</sub>	1825
Mullite	Al <sub>2</sub> [SiO <sub>5</sub> ]	1850
Forsterite	Mg <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ]	1910
Corindone	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -α	2072
Spinello	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	2135
Zircone	Zr[SiO <sub>4</sub> ]	2550
Periclasio	MgO	2852
Uraninite	UO <sub>2</sub>	2878
Grafite	C-α	3652

(\*) Punti di fusione usati per calibrare la scala internazionale delle temperature.

**Attacco acido:** i carbonati sono solubili in HCl e sviluppano CO<sub>2</sub> secondo la reazione:



(La calcite anche a freddo, gli altri carbonati a caldo)



# Conducibilità elettrica

Proprietà correlata al tipo di legame chimico.

Legame metallico (es. metalli nativi)  $\Rightarrow$  **eccellenti conduttori**

Legame parzialmente metallico (es. solfuri)  $\Rightarrow$  **semiconduttori**

Legame ionico o covalente  $\Rightarrow$  **isolanti**

In alcuni minerali non conduttori è possibile indurre la comparsa di corrente elettrica applicando una pressione (**PIEZOELETTICITA'**) o calore (**PIROELETTICITA'**)

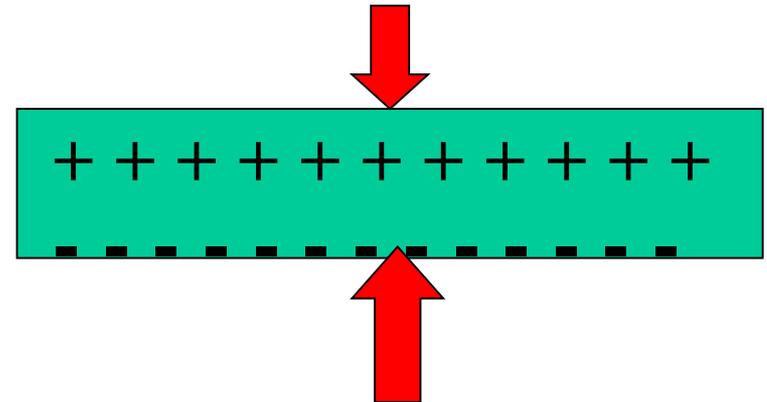
La conducibilità varia molto con T e P (es. superconduttori a  $4^{-10}$  K o  $10^{-15}$  Kbar).

La conducibilità varia moltissimo in presenza di difetti strutturali e materiali non stechiometrici (superconduttori ad alta  $T_c$ ).

# PIEZOELETRICITA'

E' una **proprietà vettoriale** che si presenta solo nelle sostanze cristalline prive del centro di simmetria. Se si esercita pressione all'estremità di un **asse polare**, un flusso di elettroni verso una estremità produce una carica elettrica negativa, mentre viene prodotta una carica positiva alla estremità opposta.

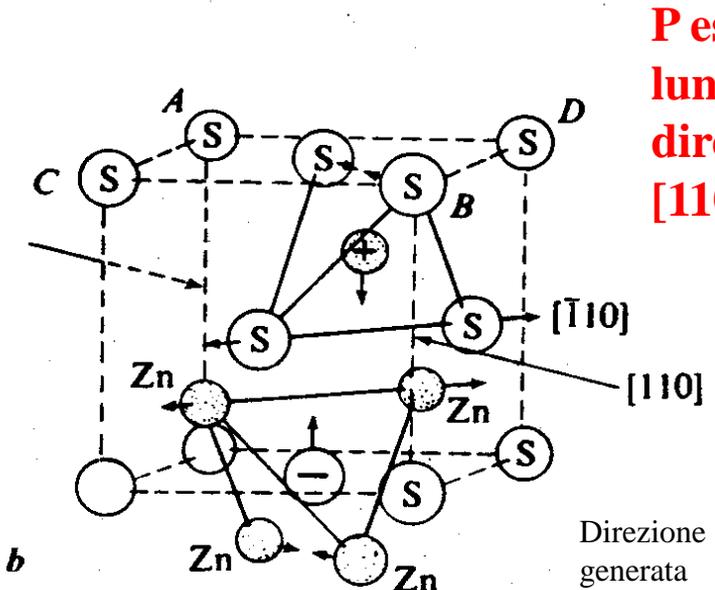
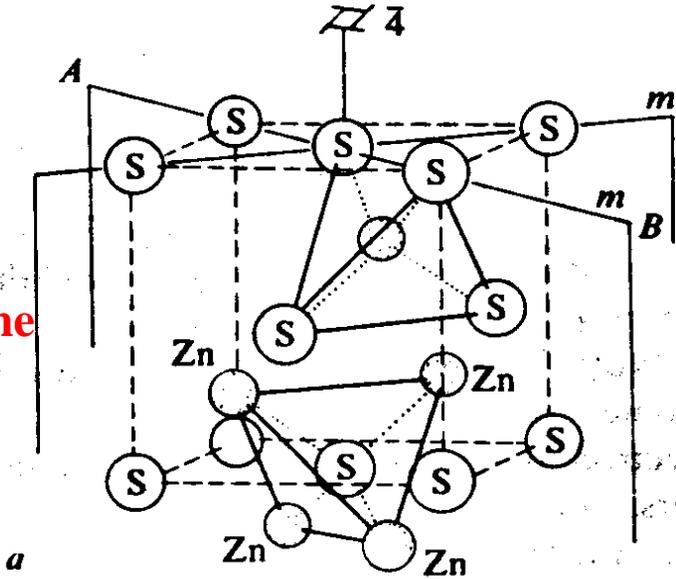
Questo fenomeno può realizzarsi nelle 21 classi di simmetria aventi assi polari e può essere sfruttata in applicazioni industriali per il controllo della radiofrequenza nei circuiti elettronici (es. quarzo, tormalina).



**Piezoelettricità:** sviluppo di una corrente elettrica momentanea quando un cristallo è compresso improvvisamente in certe direzioni. **Uso di elettricità perpendicolarmente alla direzione di stress. Soli minerali senza centro di simmetria: silenite, tourmalina, **quarzo** e topazio.**

**Es. orologi al quarzo sfruttano l'effetto opposto: contrazione e dilatazione sotto l'azione di un campo elettrico alternato  $\Rightarrow$  oscillazione.**

**ZnS**  
**Sfalerite o blenda.**  
**Zn e S in coordinazione 4. Cubica.**  
**G.S. -4 3 m**



**P esercitata lungo la direzione [110]**

**Direzione della corrente generata**

# PIROELETTRICITA'

## Proprietà vettoriale

Spostamento di cariche elettriche positive e negative causato da un cambiamento di temperatura.

Si presenta solo nelle sostanze cristalline prive del centro di simmetria e aventi almeno un asse polare.

Le classi di simmetria piroelettriche sono 10.

# Peso Specifico

Il peso specifico, o densità relativa, è un numero che esprime il rapporto tra il peso di una sostanza e il peso di eguale volume di H<sub>2</sub>O a 4 °C.



PS=2.6-2.9

Berillo  
Smeraldo



PS=5-5.02

Pirite



PS=14-22

Metalli

**Densità:**  $M/V(\text{gr/cm}^3) \Rightarrow$  espressione sia della chimica che della struttura. Per materiali **isostrutturali** dipende dalla composizione chimica, per materiali **polimorfi** dipende dall'arrangiamento strutturale che è funzione di T e P.

**Minerali isostrutturali:**

$\text{SrSO}_4$	4.0	$\text{CaCO}_3$	2.9
$\text{BaSO}_4$	4.5	$\text{SrCO}_3$	3.7
$\text{PbSO}_4$	6.3	$\text{BaCO}_3$	4.3
		$\text{PbCO}_3$	6.6

**Minerali polimorfi:**

$\text{SiO}_2$		<b>C</b>	
Cristobalite- $\alpha$	2.33	Diamante	3.5
Tridimite- $\alpha$	2.37	Chaoite	3.4
Quarzo- $\alpha$	2.65	Grafite	2.2
Coesite	3.01		
Stishovite	4.35		

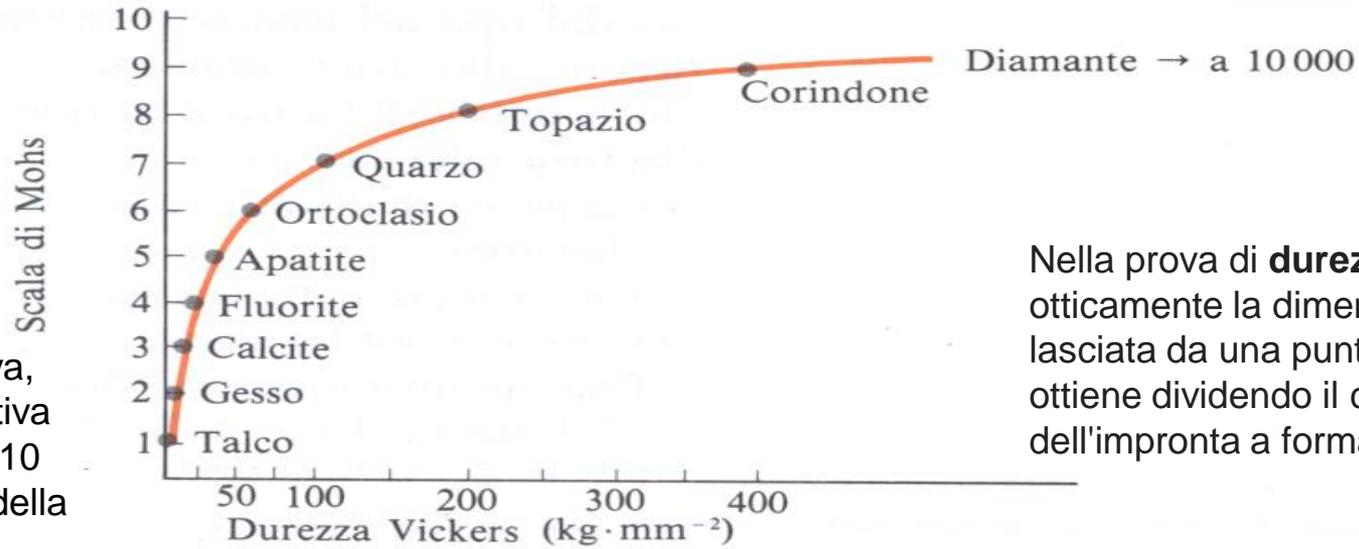
**Proprietà scalare**

## **Durezza:**

**resistenza offerta da un minerale a una sollecitazione meccanica applicata o secondo una direzione (scalfittura) o secondo un piano (abrasione).**

**Proprietà vettoriale discontinua.**

Qualitativa,  
comparativa  
usando i 10  
minerali della  
figura



Nella prova di **durezza Vickers**, si misura otticamente la dimensione dell'impronta lasciata da una punta diamantata. Si ottiene dividendo il carico P per l'area dell'impronta a forma piramidale.

Qualifica	Minerale	Comportamento
Teneri	1. Talco (grafite) 2. Gesso (salgemma) 3. Calcite	Rigabile con l'unghia
Semiduro	4. Fluorite	Rigabile col temperino
Duri	5. Apatite 6. Ortoclasio	
Durissimi	7. Quarzo 8. Topazio 9. Corindone 10. Diamante	Non rigabile

La determinazione della DUREZZA si esegue rigando il minerale in esame con una serie di minerali di durezza nota

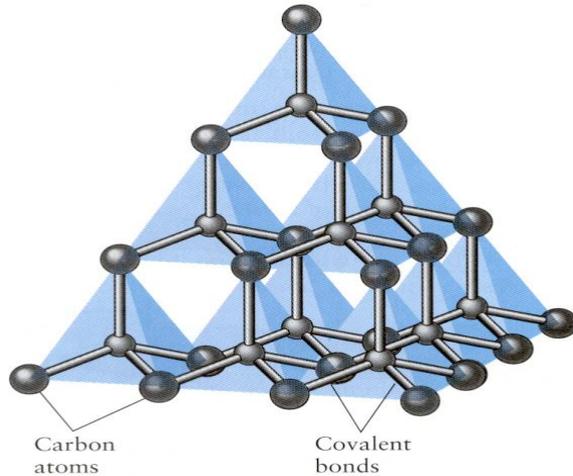


Il topazio, con durezza 8, riga la fluorite (durezza 4)



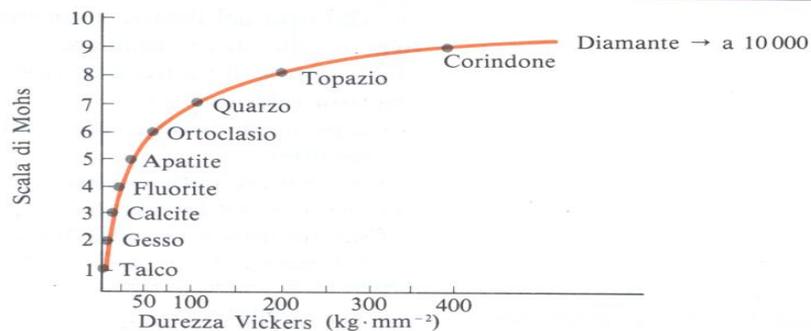
**Minerali duri:** forti legami chimici distribuiti in modo altamente simmetrico (diamante).

**Minerali teneri:** legami deboli in direzioni specifiche della struttura.



La durezza di un minerale dipende da vari aspetti strutturali:

- 1) Dal tipo di legame interatomico che viene rotto e dalla sua orientazione rispetto allo sforzo applicato;
- 2) A parità di tipo di legame e di carica, è inversamente proporzionale alla distanza interatomica;
- 3) A parità di distanza interatomica, cresce con la carica degli atomi interessati;
- 4) A parità di carica e distanza interatomica, è direttamente proporzionale al numero di coordinazione.



Qualifica	Minerale	Comportamento
Teneri	1. Talco (grafite)	Rigabile con l'unghia
	2. Gesso (salgemma)	
	3. Calcite	
Semiduro	4. Fluorite	Rigabile col temperino
Duri	5. Apatite	
	6. Ortoclasio	
Durissimi	7. Quarzo	Non rigabile
	8. Topazio	
	9. Corindone	
	10. Diamante	

# Frattura e sfaldatura

Sollecitando meccanicamente un corpo oltre un determinato limite, si provoca la sua suddivisione in più parti.

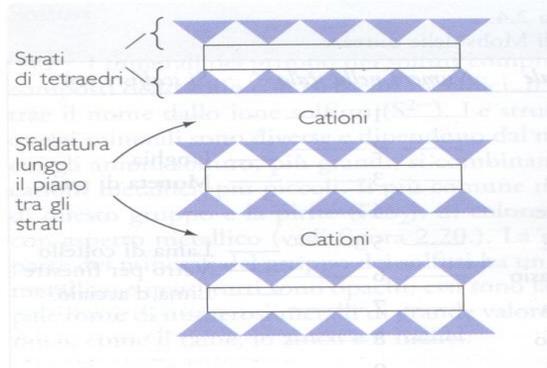
La frattura può avvenire secondo una superficie irregolare (es. **frattura concoide** delle ossidiane) o secondo un piano ben definito. In questo secondo caso, che si verifica nei cristalli e non negli amorfi, si parla di **SFALDATURA**.

**Il fenomeno è conseguenza diretta dell'andamento anisotropo e discontinuo delle forze di legame nei solidi cristallini:** secondo piani cristallografici fissi la coesione passa bruscamente a valori minimi e quindi secondo tali piani si ha una facile separabilità del cristallo.

**Sfaldatura:** rottura che avviene secondo superfici parallele ai piani cristallografici tra cui i legami chimici sono più deboli (ovvero le distanze di legame più lunghe e la densità di legami più bassa).



**Proprietà discontinua anisotropa.**



**Filmati che illustrano la sfaldatura dei cristalli:**

Quarzo e calcite: [www.youtube.com/watch?v=iafahWbrK5Y](http://www.youtube.com/watch?v=iafahWbrK5Y)

Gesso e mica: [www.youtube.com/watch?v=GkmZiXsB6UE](http://www.youtube.com/watch?v=GkmZiXsB6UE)

Se la sfaldatura avviene secondo un certo piano, essa avverrà anche secondo tutti i piani equivalenti a questo per simmetria. Se tali piani definiscono una forma chiusa, si avrà un **solido di sfaldatura**:



**CALCITE**: romboedro

**FLUORITE**: ottaedro

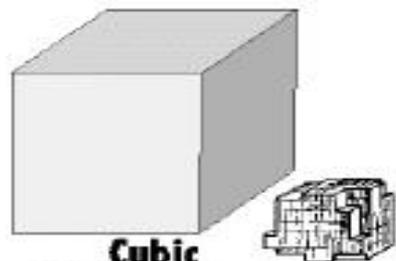
**SALGEMMA**: cubo

**MICHE**: sfaldatura basale

La sfaldatura avviene **parallelamente** a un piano che contiene un alto numero di legami (alta densità atomica).

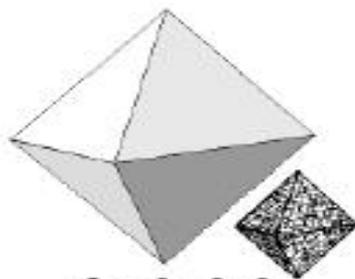
**Perpendicolarmente al piano di sfaldatura si ha una bassa concentrazione di legami oppure legami deboli** (es. interazioni di Van der Waals).

# Esempi di solidi di sfaldatura



**Cubic**  
(3 cleavages, 6 faces  
at right angles; e.g. halite)

**Sfaldatura  
cubica**



**Octahedral**  
(4 cleavages, 8 faces; e.g.  
fluorite)

**Sfaldatura  
ottaedrica**



**Dodecahedral**  
(6 cleavages, 12 faces; e.g.  
sphalerite)

**Sfaldatura  
dodecaedrica**



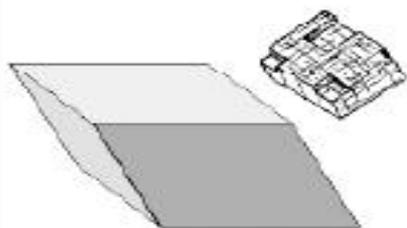
**Fluorite**



**Magnetite**

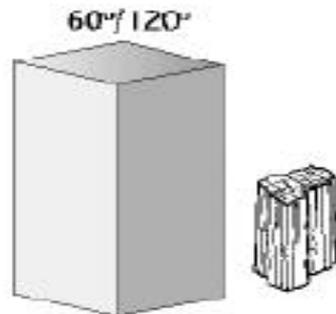
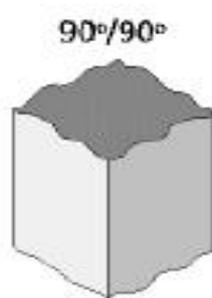


**Granato**



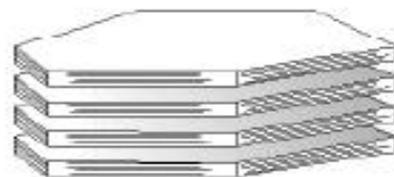
**CALCITE**

**Sfaldatura  
romboedrica**



(2 cleavages, 4 faces of many possible angles; third side fractures irregularly; e.g. pyroxene, amphibole, feldspar)

**Sfaldatura prismatica**



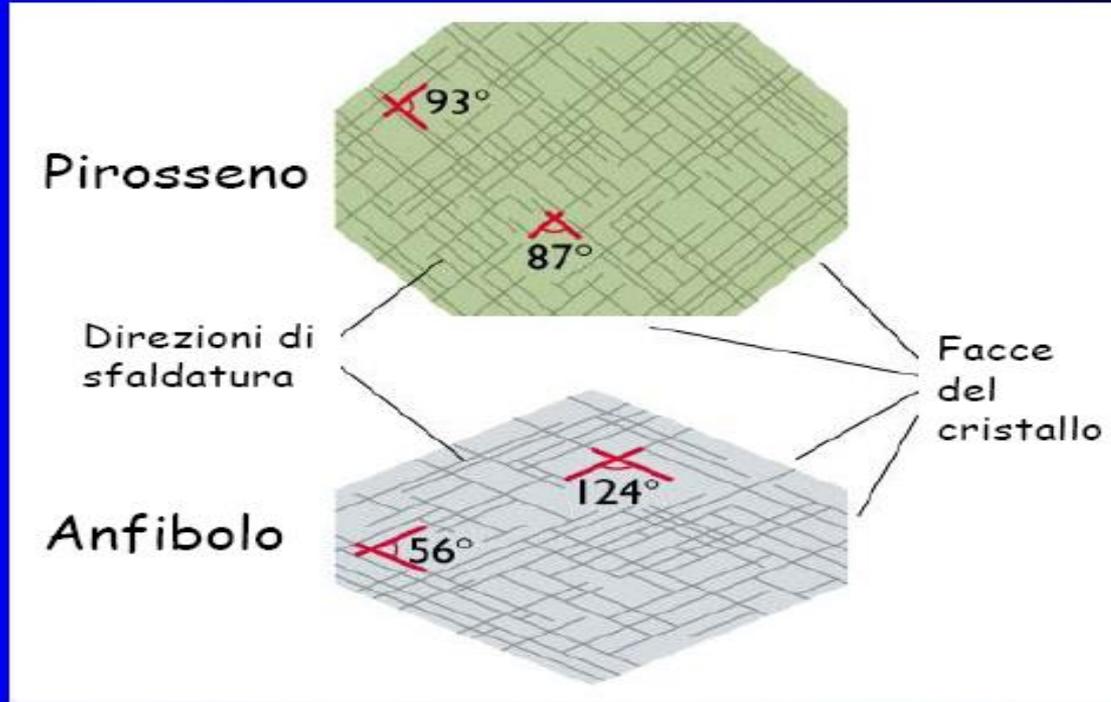
**Basal**

(1 cleavage, 2 faces; e.g. biotite, muscovite, chlorite)

**Sfaldatura  
basale**



## Relazioni tra sfaldatura e facce cristalline...

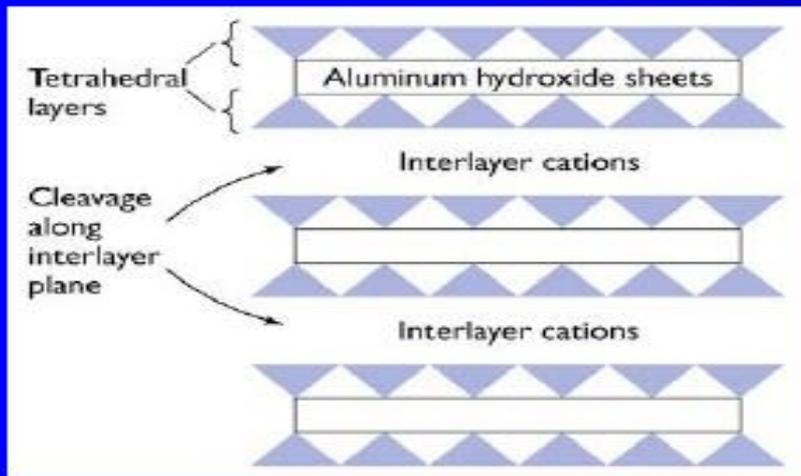


Doppia traccia di sfaldatura in pirosseni (a  $90^\circ$ ) e anfiboli (a  $120^\circ$ )

Le **tracce dei piani di sfaldatura** sono ben visibili sulle facce basali al microscopio da mineralogia.

...e tra sfaldatura, facce cristalline e struttura.

## Fillosilicati (o silicati "a foglia")



**Dilatazione termica:** cambiamento delle dimensioni di un solido con la temperatura. **Proprietà vettoriale continua.**

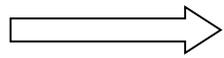
All'aumentare della T il minerale raggiunge l'equilibrio aumentando la vibrazione termica degli atomi  $\Rightarrow$  equilibrio tra forze attrattive e repulsive. Quando l'energia cinetica è più forte delle forze attrattive  $\Rightarrow$  cambiamento di fase (Polimorfismo) o fusione.

**Coefficiente di espansione termica:**

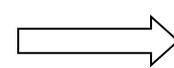
$$\alpha_p (V) = \Delta V \cdot \Delta T / V$$

**Minerali con forti legami covalenti o forti legami ionici hanno piccoli coefficienti di espansione termica.**

**Poliedri di coordinazione di cationi a bassa coordinazione**



**maggiore forza di legame**



**minore**

**espansione termica.**

# Compressibilità

Proprietà elastica dei minerali in condizioni di alta P

Coefficiente di compressibilità' =  $\beta_T = -\Delta V/V\Delta P = -1/B_T$

$B_T$  = **bulk modulus**

La forza repulsiva di Born è di qualche ordine di grandezza maggiore della forza attrattiva coulombiana quindi la compressione è più difficile della dilatazione.

Cationi con alta carica e bassa coordinazione (es.  $\text{Si}^{4+}$ ) resistono bene sia alla T che alla P e i loro poliedri di coordinazione sono relativamente incompressibili.

Cationi con bassa carica e alta coordinazione (es.  $\text{Na}^+$ ) permettono alta espandibilità e compressibilità'.