

ASSOCIAZIONE AMICI DELLA NATURA ROSIGNANO

MuSNa
Museo di Storia Naturale
ROSIGNANO MARITTIMO



Villa Pertusati
57016 Rosignano Marittimo (Li)
tel. 0586 724550, 377 1465349
www.musrosi.org
musrosi@tiscali.it

Apertura invernale (dal 3 settembre al 30 giugno)
giovedì e sabato, ore 16.00 - 19.00
lunedì - venerdì, apertura per le scuole su prenotazione
ogni prima domenica del mese, ore 16.00 - 19.00

Apertura estiva (dal 1 luglio al 2 settembre)
sabato ore 16.00 - 19.00
domenica ore 9.00 - 12.00



COMUNE ROSIGNANO MARITTIMO

ASSOCIAZIONE «AMICI DELLA NATURA»
rosignano

osservatorio toscano per la biodiversità

MuSNa – Villa Pertusati Rosignano M.mo via Eduardo De Filippo 6

Per informazioni: 0586 724550, 377 1465349;
www.musrosi.org
musrosi@gmail.com.

CORSO INTRODUTTIVO ALLO STUDIO, AL RICONOSCIMENTO E ALLA COLLEZIONE DEI MINERALI - 2026

CONVERSAZIONE 5: *MINERALI, ROCCE E LA FORMAZIONE DELLA TERRA*
CONVERSAZIONE 6: *INTRODUZIONE ALLA CHIMICA PER LA MINERALOGIA*
CONVERSAZIONE 7: *CLASSIFICAZIONE CRISTALLOCHIMICA*
CONVERSAZIONE 8: *IL COLORE DEI MINERALI (RICONOSCIMENTO PARTE II)*
CONVERSAZIONE 9: *FORMA E SIMMETRIA DEI MINERALI*
CONVERSAZIONE 10: *NUOVE INTERPRETAZIONI DELLA FORMAZIONE DEI GIACIMENTI TOSCANI*

Museo di Storia naturale di Rosignano – MuSNa
GRUPPO GEOMINERALOGICO

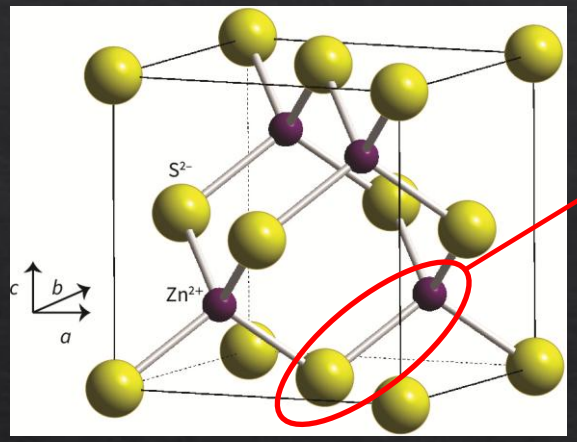
CONVERSAZIONE SETTIMA

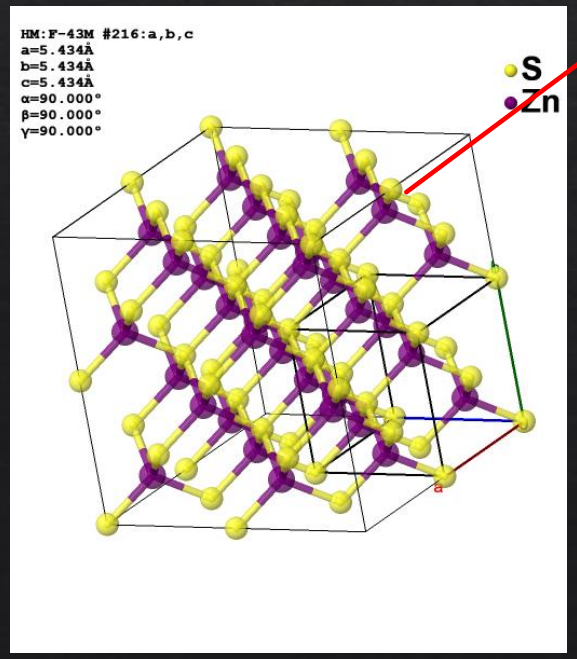
CLASSIFICAZIONE CRISTALLOGRAFICA

21.03.2026

MINERALI

MINERALE: è una sostanza naturale, solida, formata in seguito a processi inorganici, omogenea, perché costituito da particelle che si ripetono con periodicità per tutto il cristallo. A questa definizione esistono alcune eccezioni: il mercurio, pur essendo liquido, viene considerato un minerale; come alcuni composti radioattivi, che nel tempo possono perdere la distribuzione ordinata degli atomi, divenendo amorfi. Ci sono poi minerali che non derivano proprio da un processo inorganico, come la calcite dei calcari organogeni formata dall'accumulo di scheletri di organismi marini animali e vegetali.





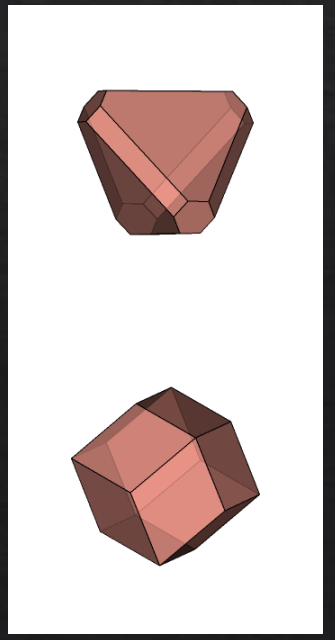
Un minerale è classificato in base a 2 caratteristiche:

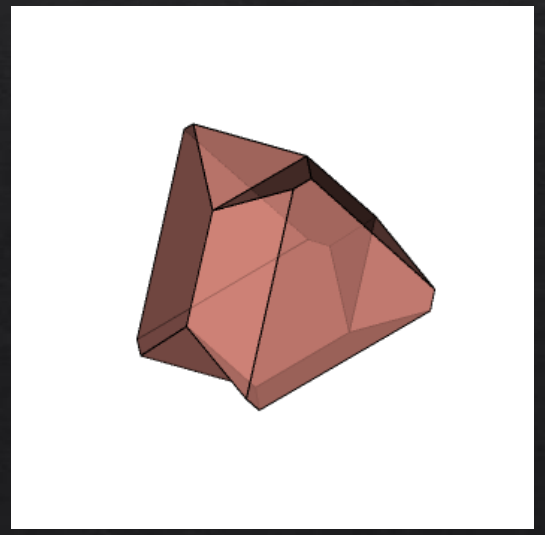
Formula Chimica: es. Sfalerite **ZnS** – essa descrive gli elementi chimici che lo compongono ed in quale proporzione relativa sono presenti nel minerale.

Nella cella rappresentata appaiono 5+4+5 atomi di Zolfo (S) e 4 atomi di Zinco (Zn)…. Ma la formula non è Zn5S11. Gli 8 atomi ai vertici della cella appartengono ognuno a 8 celle contigue, i atomi di Zolfo alle facce della cella appartengono ognuno a due celle contigue quindi il numero di atomi di Zolfo in una cella è $8X\frac{1}{8} + 6X\frac{1}{2} = 1 + 3 = 4$ atomi di Zolfo mentre i 4 atomi di Zinco sono interamente contenuti nella cella da cui la formula ZnS

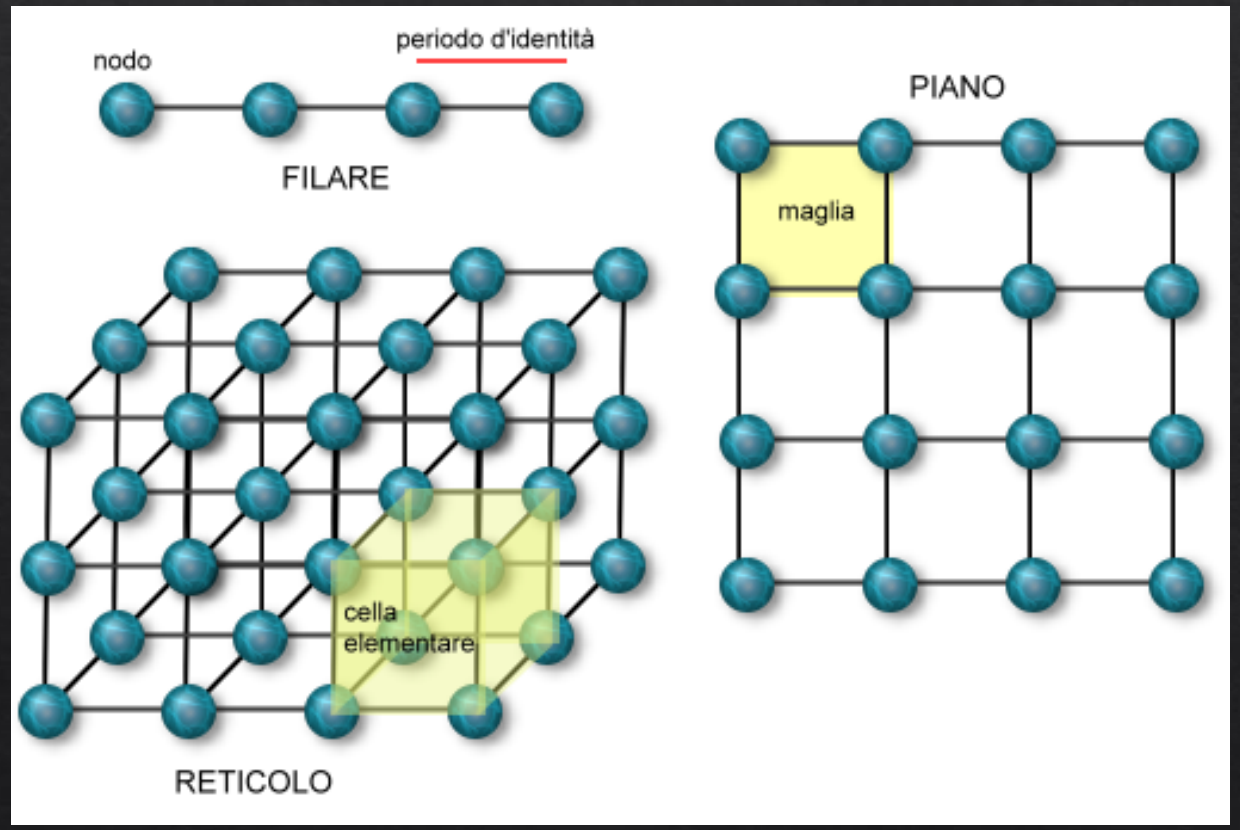
Struttura Cristallina: è il modo e le regole in cui gli atomi (o le molecole) sono disposti all'interno di un cristallo. Questa disposizione ordinata conferisce ai materiali le loro proprietà fisiche e chimiche specifiche. Questo si esprime in una serie di proprietà di simmetria espresse come Gruppo/Sistema/Classe Crstallina e Gruppo Puntuale. Nel caso della sfalerite essa appartiene al Gruppo Monometrico, Sistema Cubico, Classe esacistetraedrica, simbolo del gruppo puntuale $\bar{4}3m$







IL RETICOLO CRISTALLINO

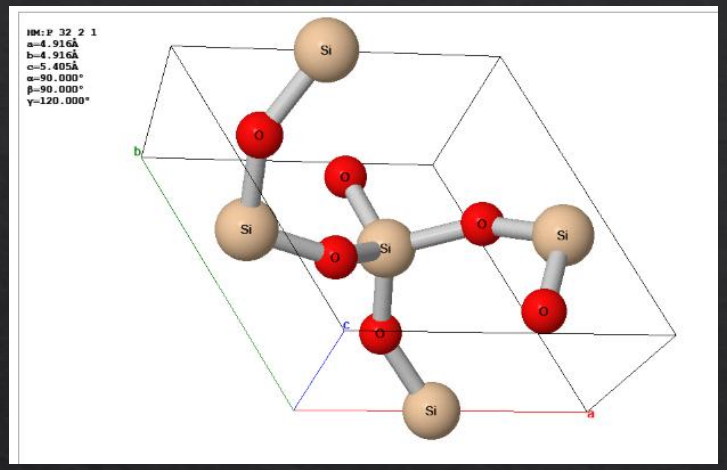


Un reticolo cristallino è una struttura tridimensionale costituita da punti (nodi) che rappresentano le posizioni degli atomi, ioni o molecole all'interno di un cristallo. Questi punti sono disposti in modo regolare e periodico nello spazio, formando un motivo che si ripete indefinitamente.

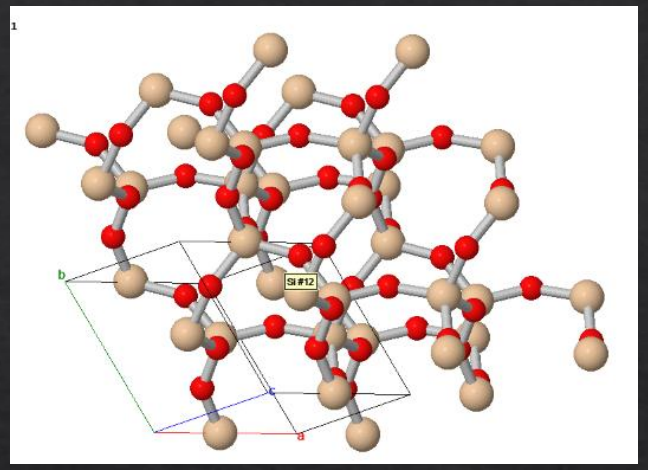
- Nodo reticolare: posizione assunta da un atomo facente parte del reticolo
- Filare reticolare: sequenza di atomi lungo un asse del reticolo
- Piano o maglia reticolare: sequenza ordinata degli atomi in un piano de reticolo
- Reticolo: sequenza tridimensionale ordinata e periodica con cui sono disposti gli atomi nello spazio

La simmetria cristallina dipende dalla disposizione degli atomi nel reticolo cristallino a cui corrisponde ‘quasi sempre’ una regolarità della disposizione delle facce del cristallo coerente con la simmetria

Reticolo del quarzo e forme del quarzo

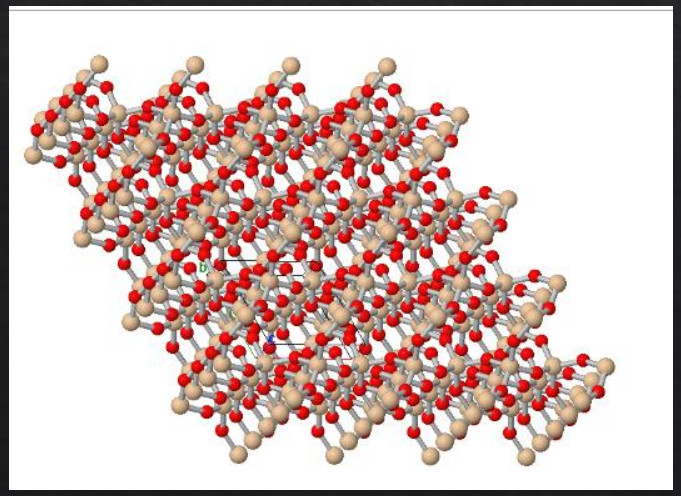


Quarzo SiO_2 cella unitaria

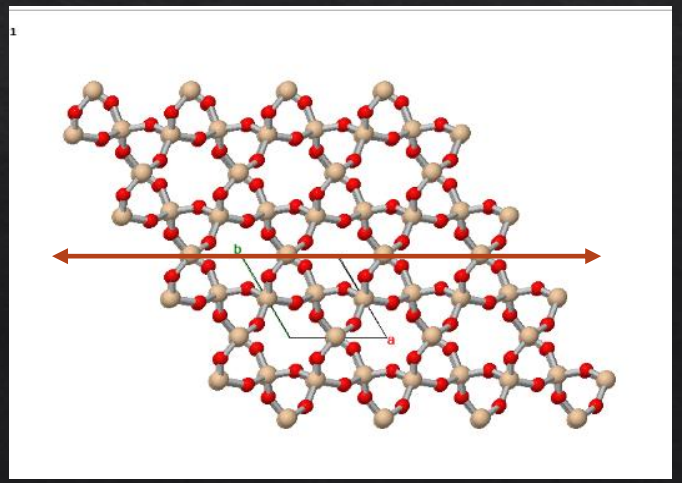


Quarzo SiO_2 cella unitaria 2X2X2





Quarzo SiO_2 reticolo

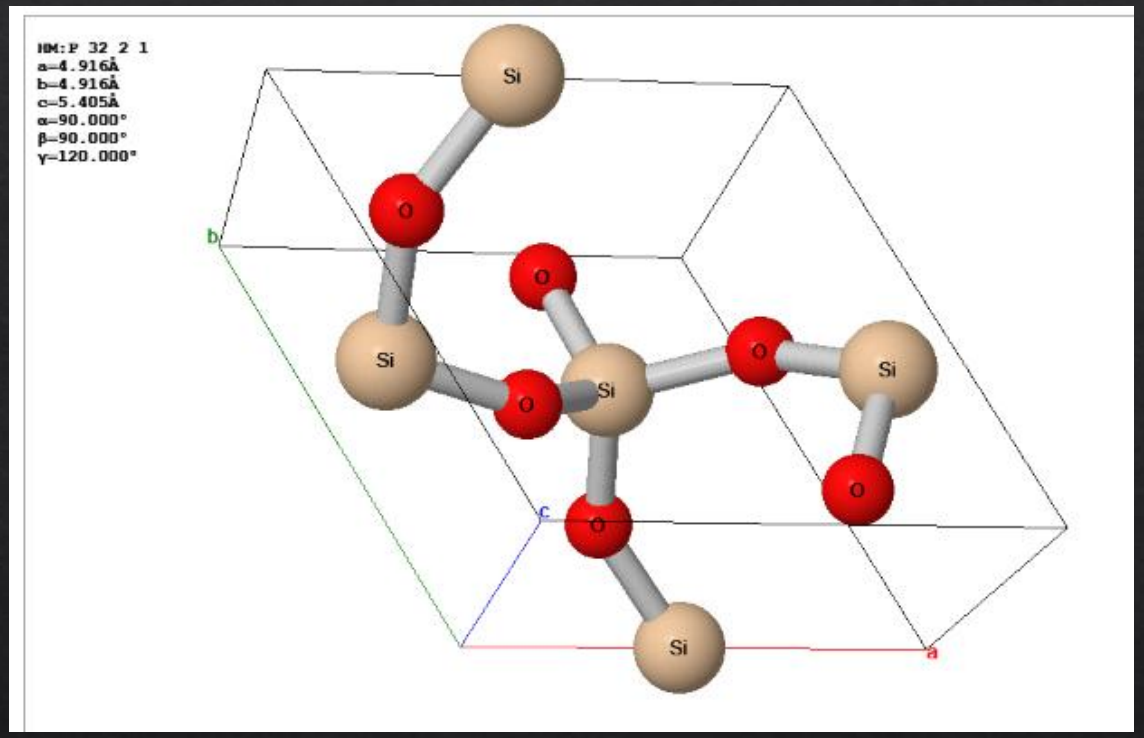


Quarzo SiO_2 cella unitaria 4X4X4

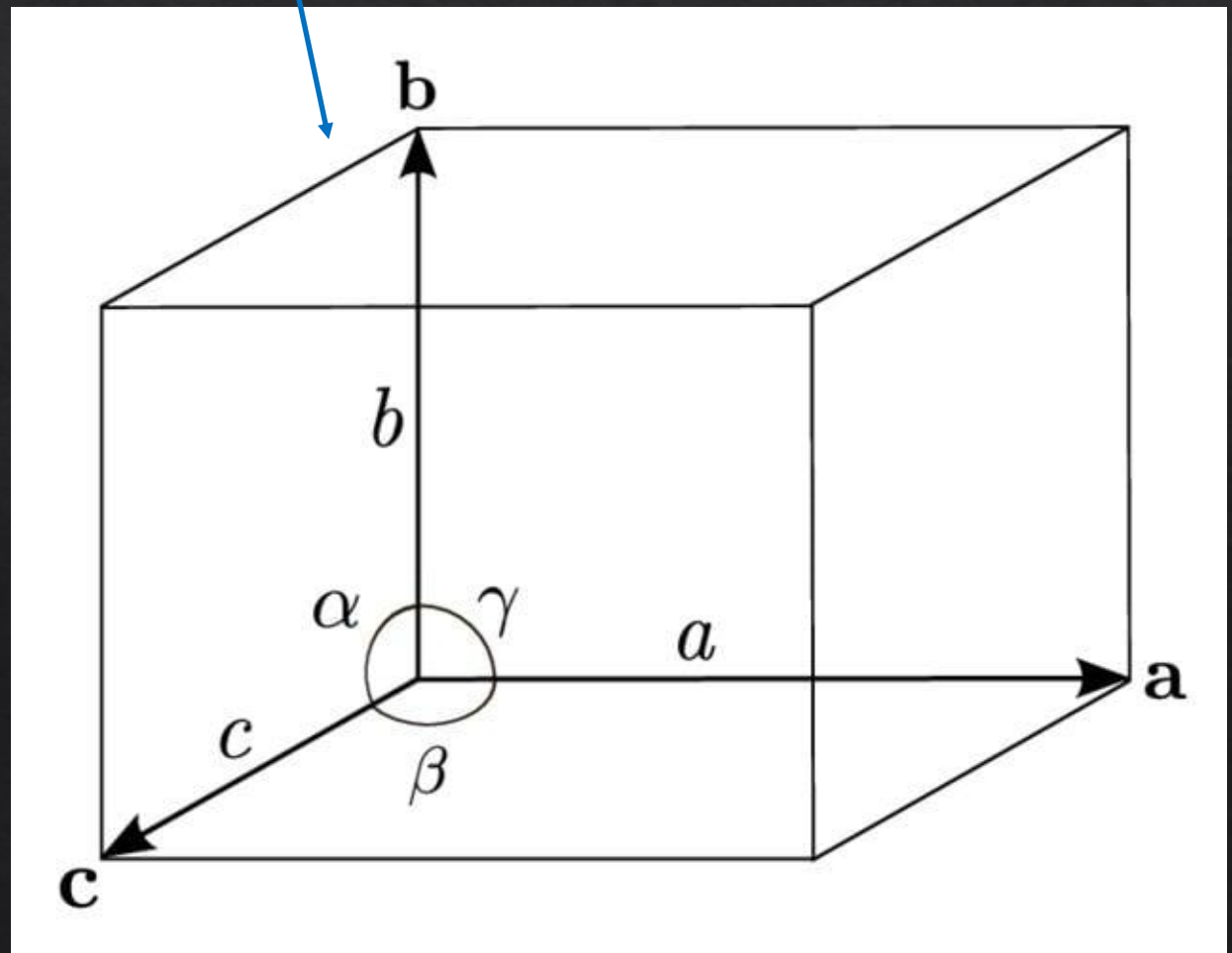


Per descrivere completamente la cella elementare occorre specificare un totale di sei quantità scalari, che sono chiamati parametri reticolari e si indicano con i simboli:

a, b, c lunghezze degli spigoli
α, β, γ angoli tra gli spigoli



Quarzo SiO_2 cella elementare

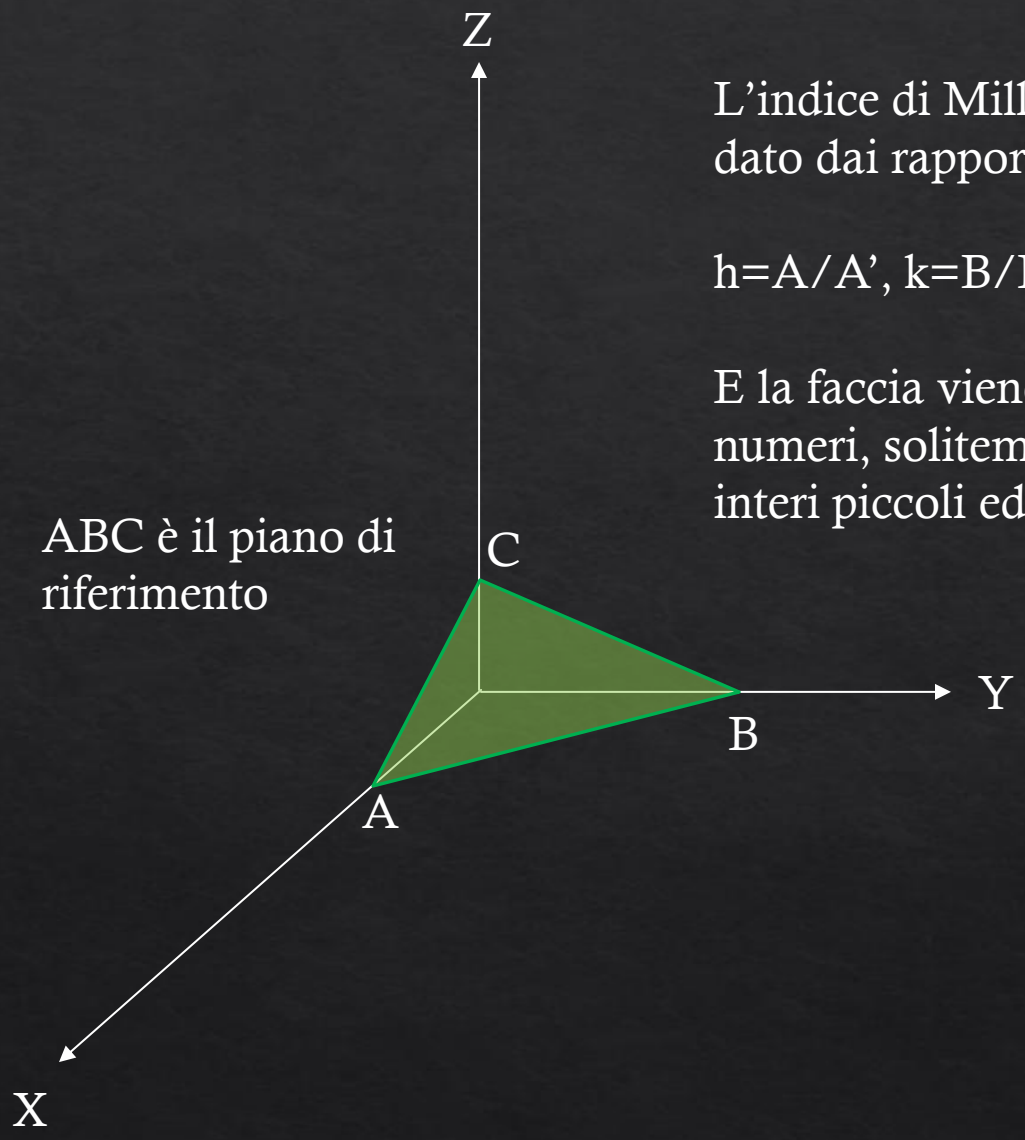


NOI VEDIAMO I CRISTAALI
NON TUTTE LE FACCE SONO UGUALI





COME SI INDICANO E COME SI NOMINANO?

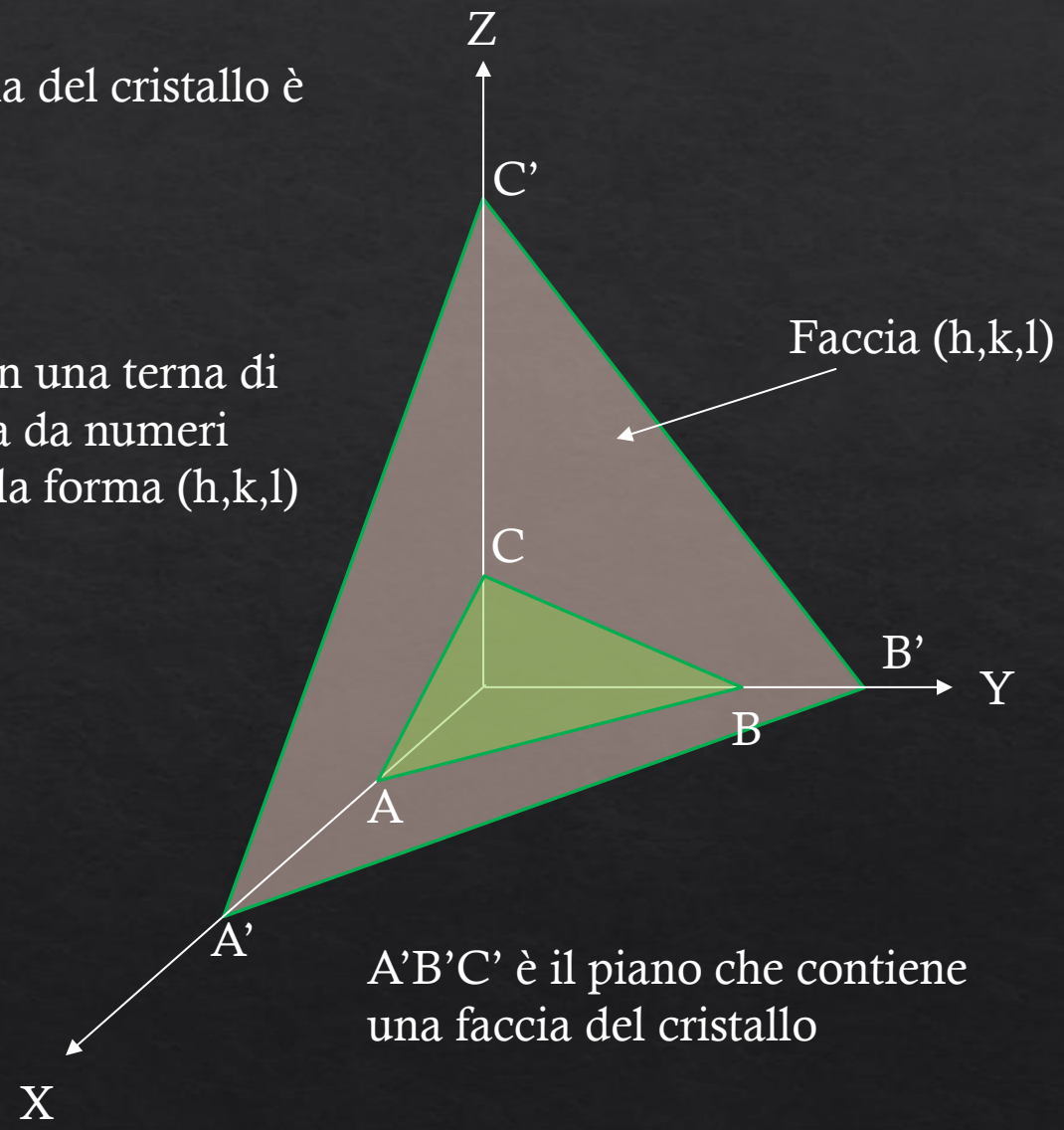


ABC è il piano di riferimento

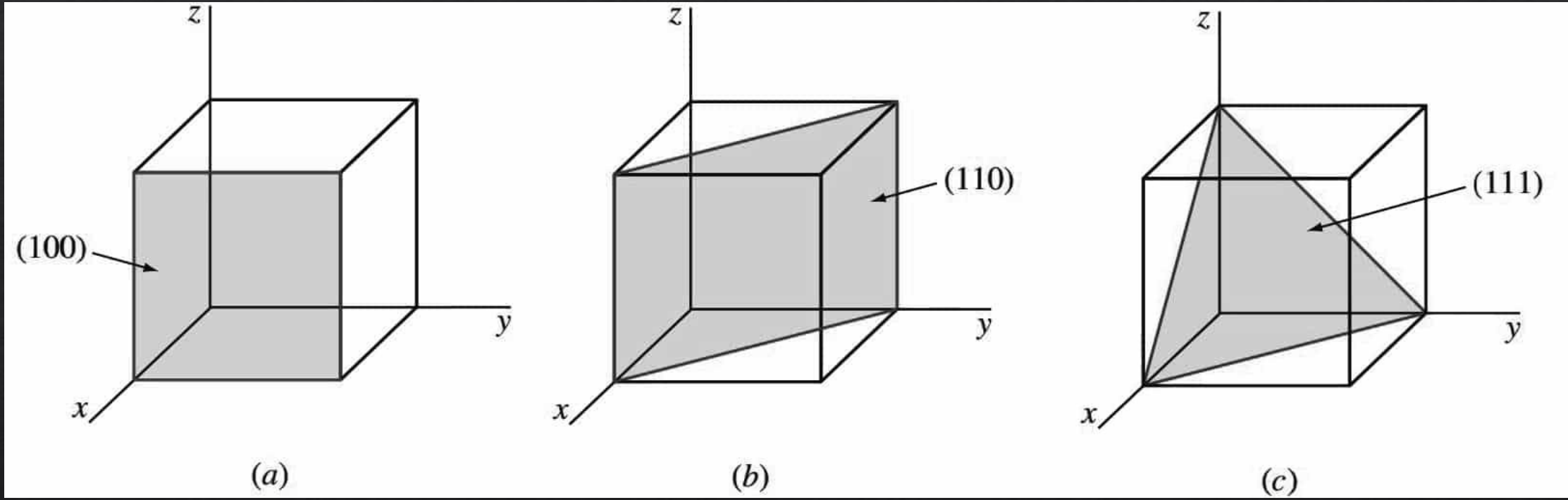
L'indice di Miller della faccia del cristallo è dato dai rapporti

h=A/A', k=B/B', l=C/C'

E la faccia viene indicata con una terna di numeri, solitemente espressa da numeri interi piccoli ed espressa nella forma (h,k,l)



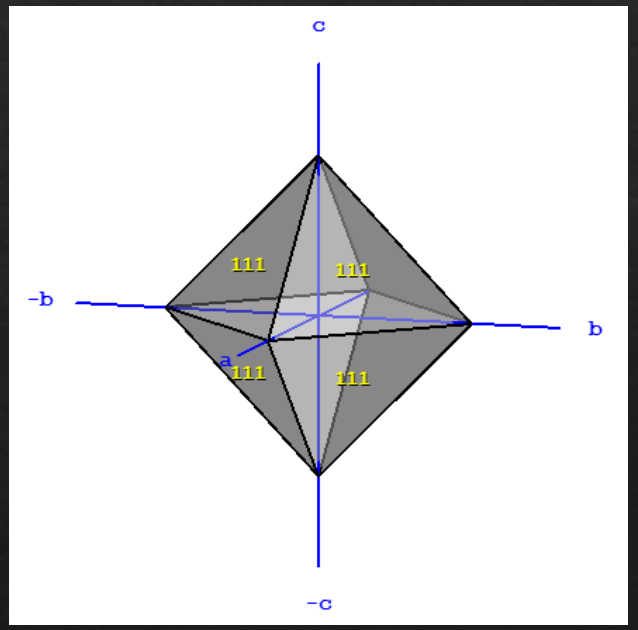
A'B'C' è il piano che contiene una faccia del cristallo


z
(100)
y
x
(a)
z
(110)
y
x
(b)
z
(111)
y
x
(c)

Nel 1874 l'abate francese René Just Haüy (1743 - 1822) enunciò la:

LEGGE DELLA RAZIONALITÀ DEGLI INDICI

se in un cristallo si assumono spigoli reali o possibili convergenti e non complanari, i rapporti tra i parametri di due facce qualsiasi stanno tra loro come numeri interi e generalmente piccoli.



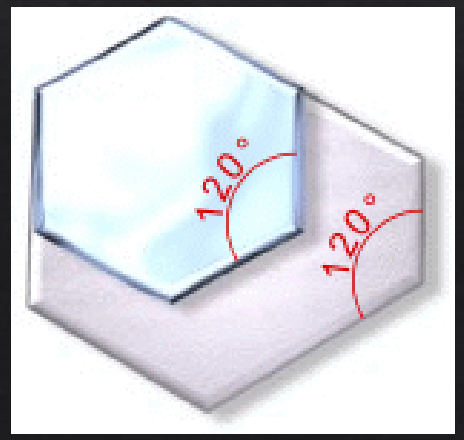
Nell'esempio riportato la faccia del cristallo ottaedrico di indice 1,1,1 è parallela e coincidente con la faccia fondamentale (a=a', b=b', c=c')
Per cui la faccia assume indici hkl ⇔ (1,1,1)

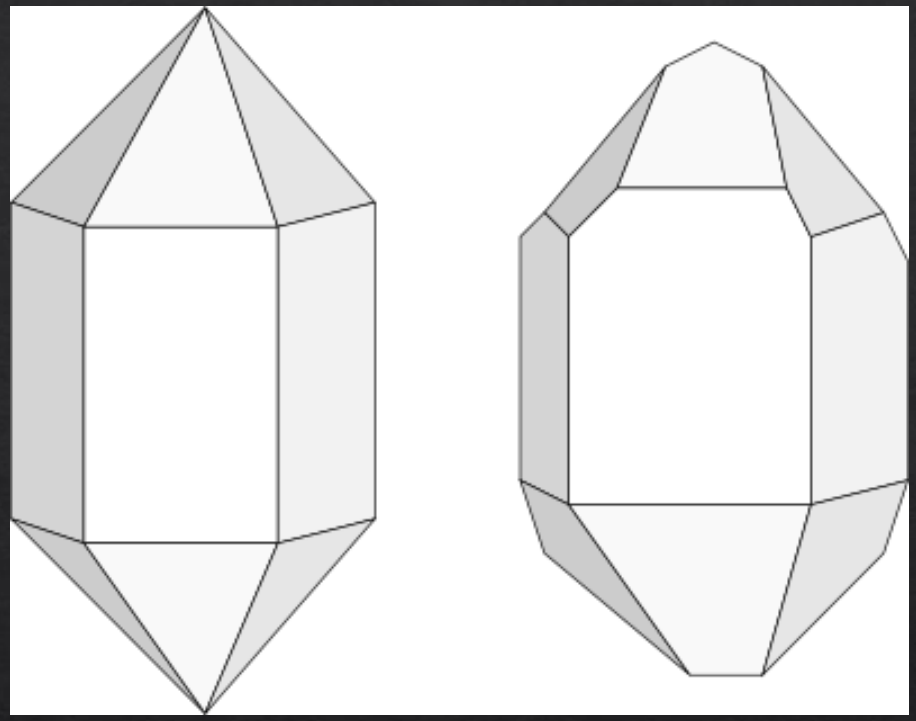
LEGGE DI STENONE O DELLA COSTANZA DELL'ANGOLO DIEDRO

In determinate condizioni, i cristalli possono formare poliedri regolari, ma più spesso si presentano sproporzionati a causa di uno sviluppo differente delle facce dello stesso tipo di poliedro.

> **Legge di Stenone** (**Niels Stensen**, 1667). **In un cristallo reale della stessa sostanza, anche se presenta sproporzioni, in condizioni di pressione e temperatura omogenee, l'angolo diedro creato da due facce qualsiasi rimane invariato rispetto a quello delle facce corrispondenti di un cristallo ideale.**

Si osserva quindi che le facce reali sono sempre parallele a quelle ideali, il che implica l'uguaglianza degli angoli. Immaginando un *trasporto ideale* delle facce parallelamente a se stesse, possiamo concepire i cristalli trasformati in forme regolari.





Il quarzo (SiO_2) può presentare una forma regolare prismatico bipiramidale, oppure può mostrare o la combinazione di più forme cristallina o uno sviluppo delle facce non omogeneo; tuttavia, nei cristalli, gli angoli tra due facce adiacenti rimangono costanti.

Entrambe le leggi, legge di Hauy della razionalità degli indici e legge di Stenone della costanza dell'angolo diedro, formulate molto prima della scoperta diretta della struttura atomica, descrivono proprietà geometriche che trovano spiegazione naturale solo in un modello cristallino reticolare:

Stenone → costanza degli angoli → conferma dell'orientazione fissa dei piani del reticolo

Haüy → rapporti razionali e piccoli → conferma dell'esistenza di piani reticolari definiti da traslazioni discrete

In altre parole, le due leggi sono manifestazioni macroscopiche della periodicità microscopica della struttura cristallina.

OPERAZIONI DI SIMMETRIA NEL RETICOLO CRISTALLINO

Che cosa rappresenta la simmetria nel reticolo cristallino?

La simmetria riflette l'ordine interno del cristallo, cioè la disposizione regolare e periodica degli atomi nel reticolo. Essa si manifesta tramite elementi di simmetria come:

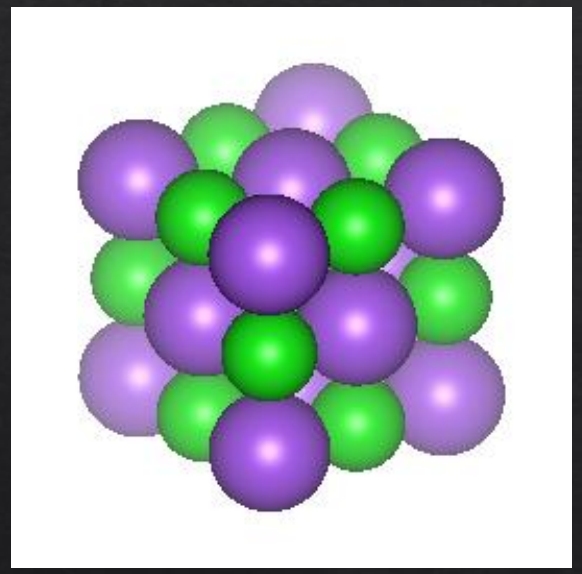
- ✓ Assi di rotazione: il cristallo coincide con sé stesso dopo una rotazione di 360°/n.
- ✓ Piani di simmetria: piani che dividono il cristallo in due metà speculari.
- ✓ Centro di simmetria: punto interno tale che per ogni posizione ne esiste una equivalente e opposta.
- ✓ Traslazioni: operazioni tale che spostandosi in un piano il sistema risulta invariato

Un'operazione di simmetria è una **trasformazione** (rotazione, riflessione, inversione, traslazione) che "**mantiene l'oggetto indistinguibile da com'era prima**", cioè lo riporta in una configurazione identica alla precedente.

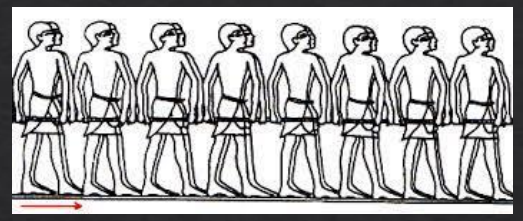
Classificazione cristallochimica

Si possono immaginare delle operazioni da compiere sugli atomi del reticolo che una volta eseguite riportino il sistema in una condizione in cui le posizioni degli atomi sono apparentemente invariate ovvero indistinguibili dalle precedenti

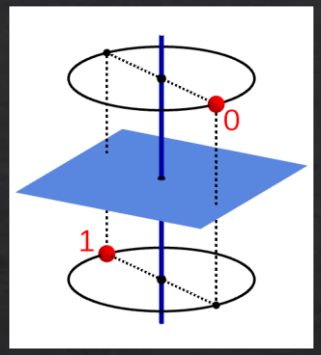
Potremo avere



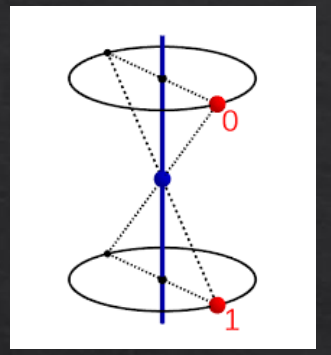
reticolo del cloruro di Sodio (NaCl), il comune sale da cucina noto col nome mineralogico di Halite o salgemma.



Traslazioni

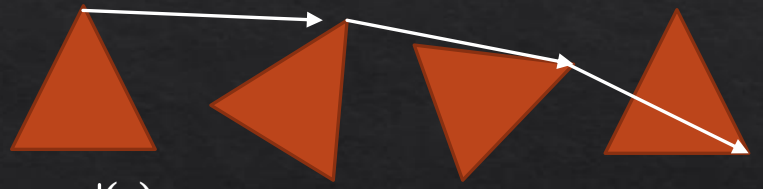


rotoriflessione

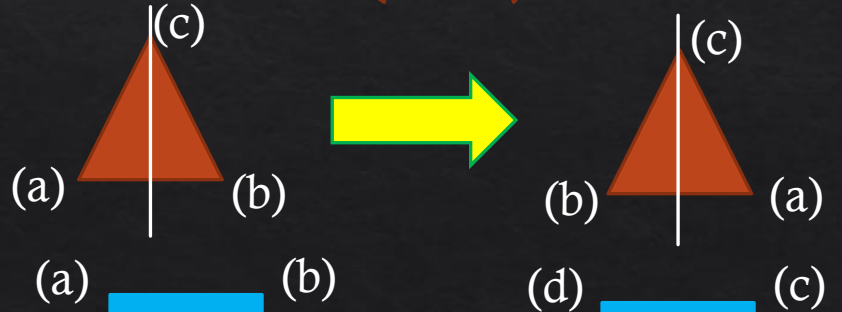


rotoinversone

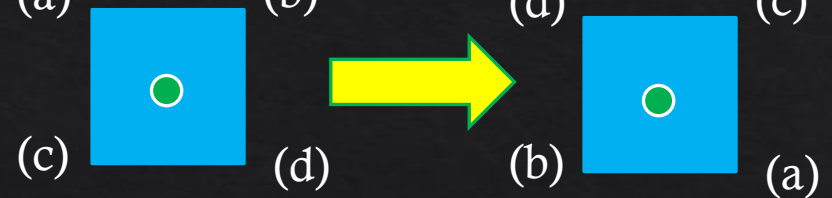
Rotazioni



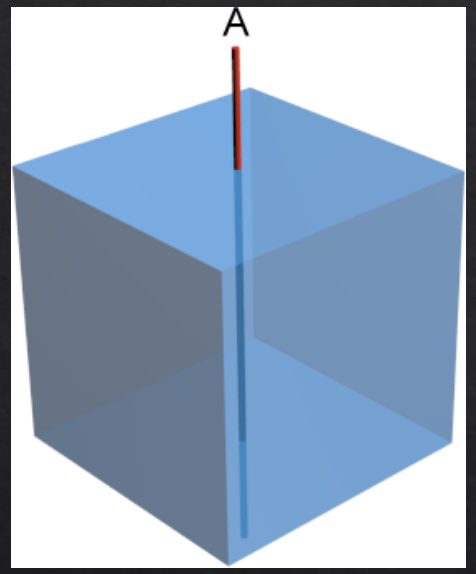
Riflessioni



Inversioni

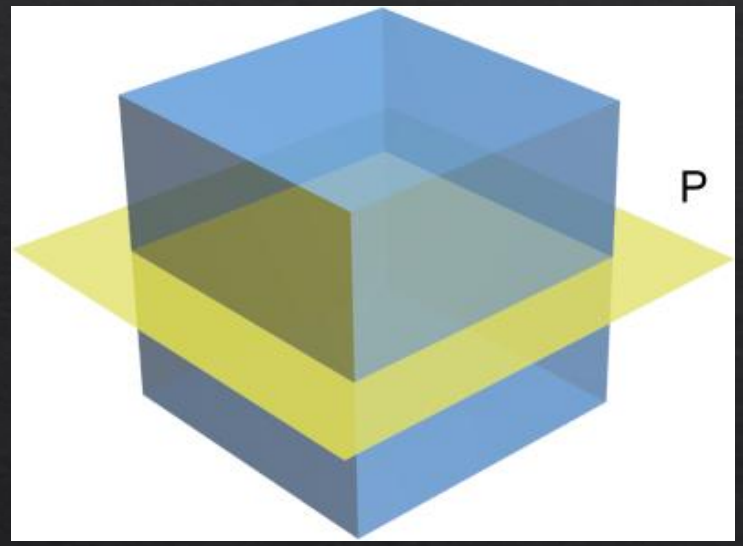


Classificazione cristallochimica



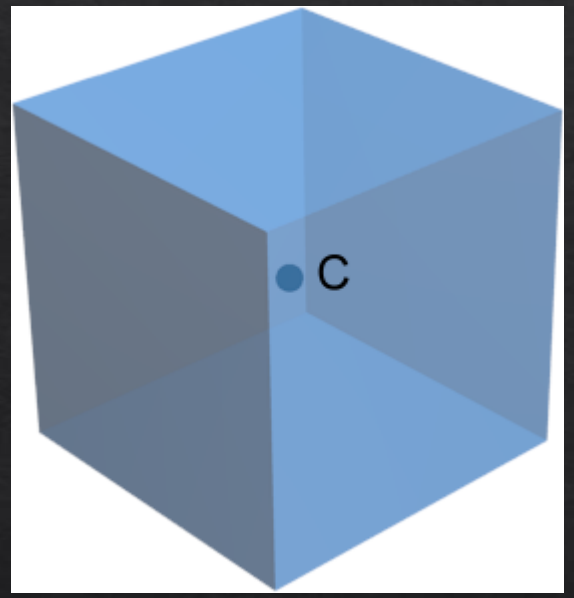
Asse di Simmetria: è una retta immaginaria che attraversa il cristallo in una direzione tale che, facendo ruotare attorno ad esso il cristallo di 360°, questo assume più volte (almeno due) una posizione identica a quella iniziale cioè a una posizione detta di *ricoprimento*.

Classificazione cristallochimica



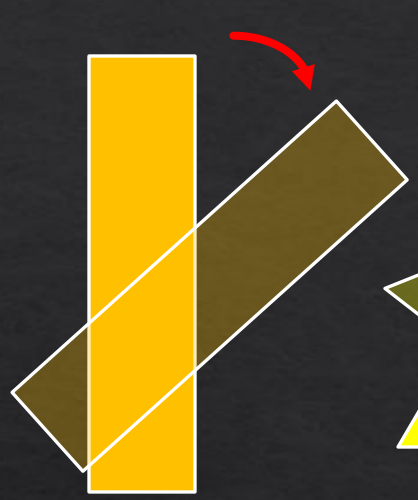
Piano di simmetria (P): è un piano immaginario che attraversa il cristallo dividendolo in due parti specularmente simmetriche, cioè ricopribili per riflessione rispetto al piano stesso. Da una parte e dall'altra del piano di simmetria si trovano elementi uguali alla stessa distanza.

Classificazione cristallochimica

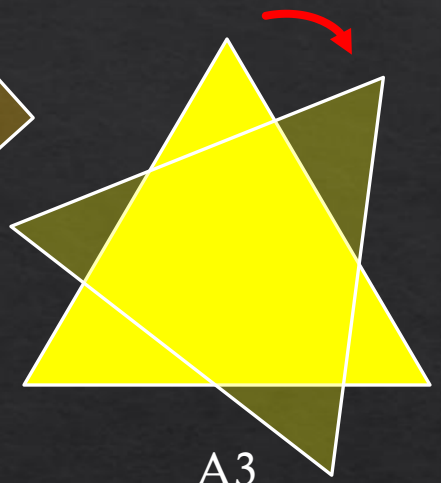


Centro di simmetria (C): è un punto interno del cristallo tale che ogni retta passante per esso incontra sulla superficie del cristallo elementi uguali a uguale distanza. In altre parole, è un punto che divide a metà tutte le rette che incontrino da parte opposta elementi uguali del poliedro. Se esiste il centro di simmetria, il cristallo presenta coppie di vertici opposti, coppie di facce e spigoli opposti uguali. Un cristallo può avere al massimo un centro di simmetria che è il baricentro del solido. Mentre tutti i cristalli hanno un baricentro, non tutti i cristalli hanno un centro di simmetria.

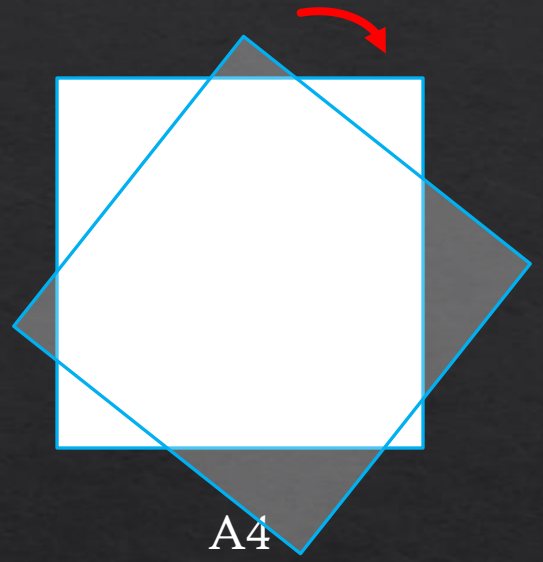
Quanti assi di simmetria sono possibili?



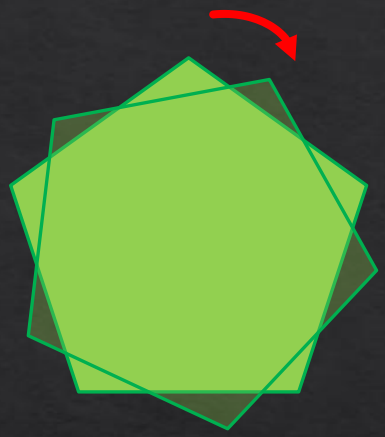
A2



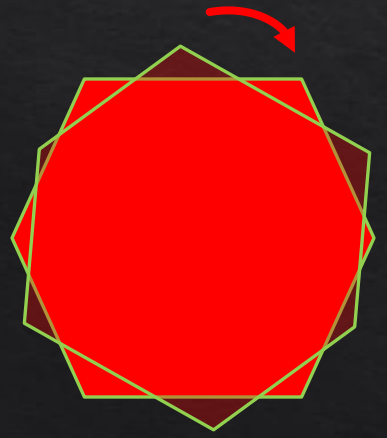
A3



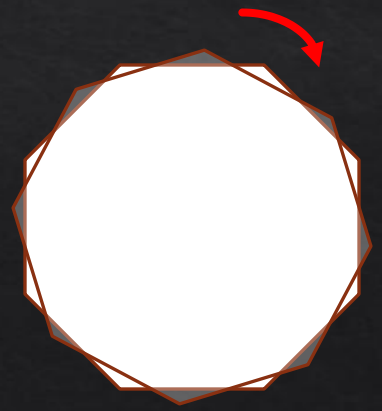
A4



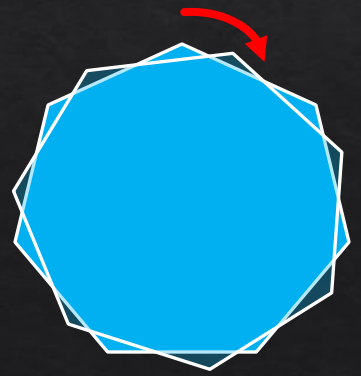
A5



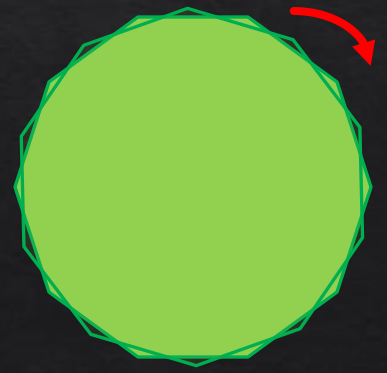
A6



A8

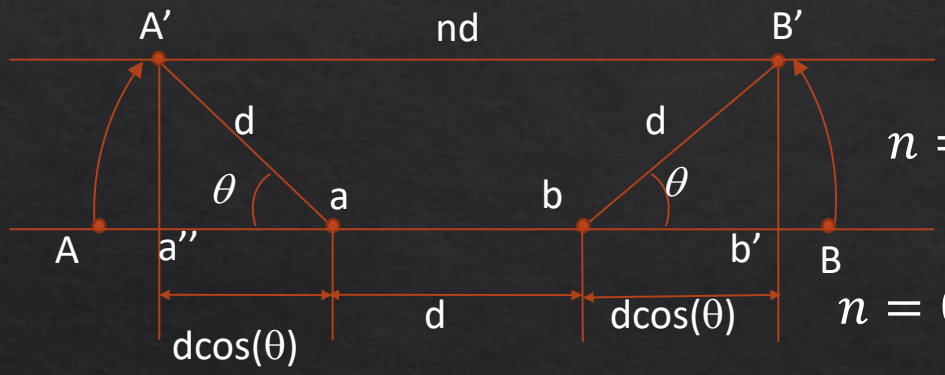


A7



A10

Per capire quali possibili assi di simmetria rotazionale siano possibili, ossia compatibili con la presenza di piani di simmetria traslazionale si supponga di osservare la figura 1 sotto riportata:



$$d\cos\theta + d + d\cos\theta = nd$$

$$\cos\theta = \frac{n-1}{2}$$

$$-1 < n < 3$$

$n = -1 \Rightarrow \theta = 180° \Rightarrow \frac{360°}{180°} = 2 \Rightarrow$ ***asse binario o di ordine 2***

$n = 0 \Rightarrow \theta = 120° \Rightarrow \mathcal{R} = \frac{360°}{120°} = 3 \Rightarrow$ ***asse ternario o di ordine 3***

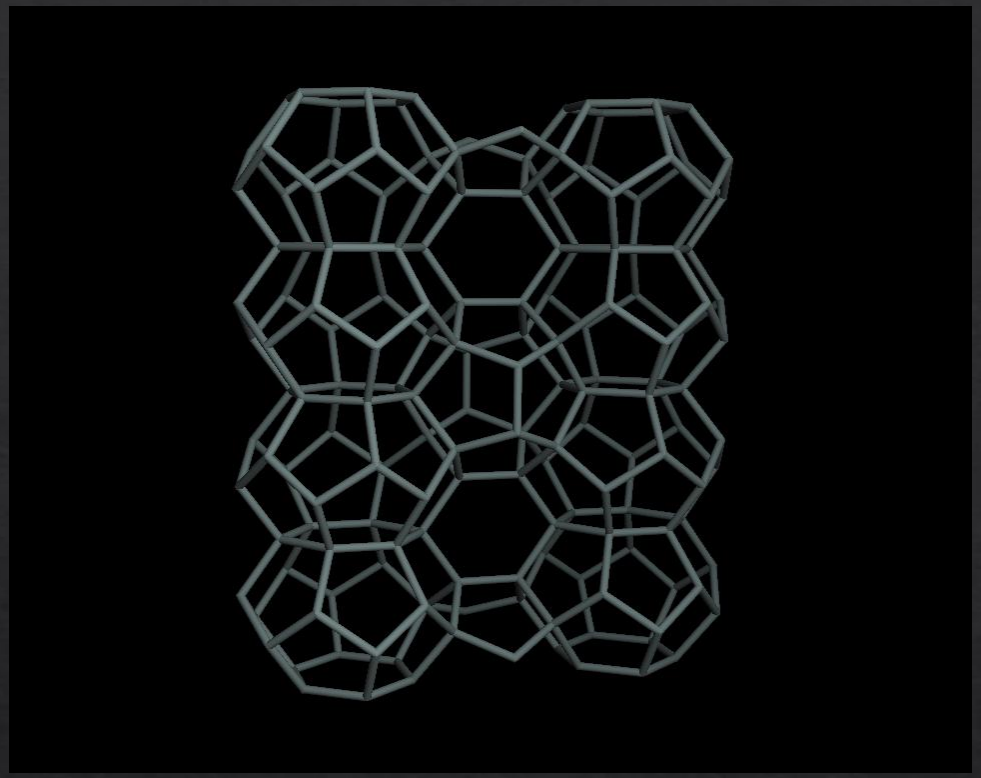
$n = 1 \Rightarrow \theta = 90° \Rightarrow \mathcal{R} = \frac{360°}{90°} = 4 \Rightarrow$ ***asse quaternario o di ordine 4***

$n = 2 \Rightarrow \theta = 60° \Rightarrow \mathcal{R} = \frac{360°}{60°} = 6 \Rightarrow$ ***asse di ordine 6***

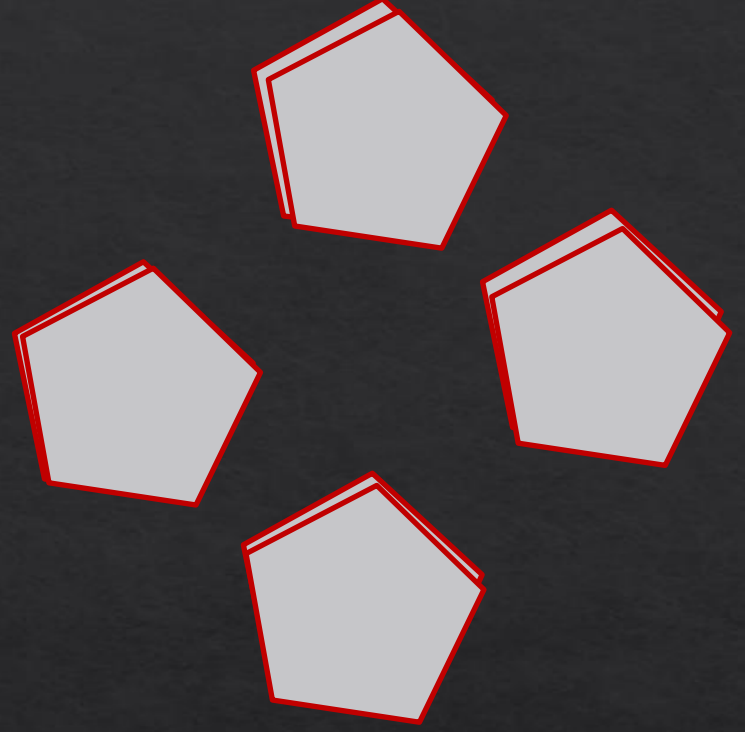
$n = 3 \Rightarrow \theta = 0° \Rightarrow$ ***operazione nulla corrispondente a non compiere alcuna rotazione***

32 gruppi puntuali
230 gruppi spaziali

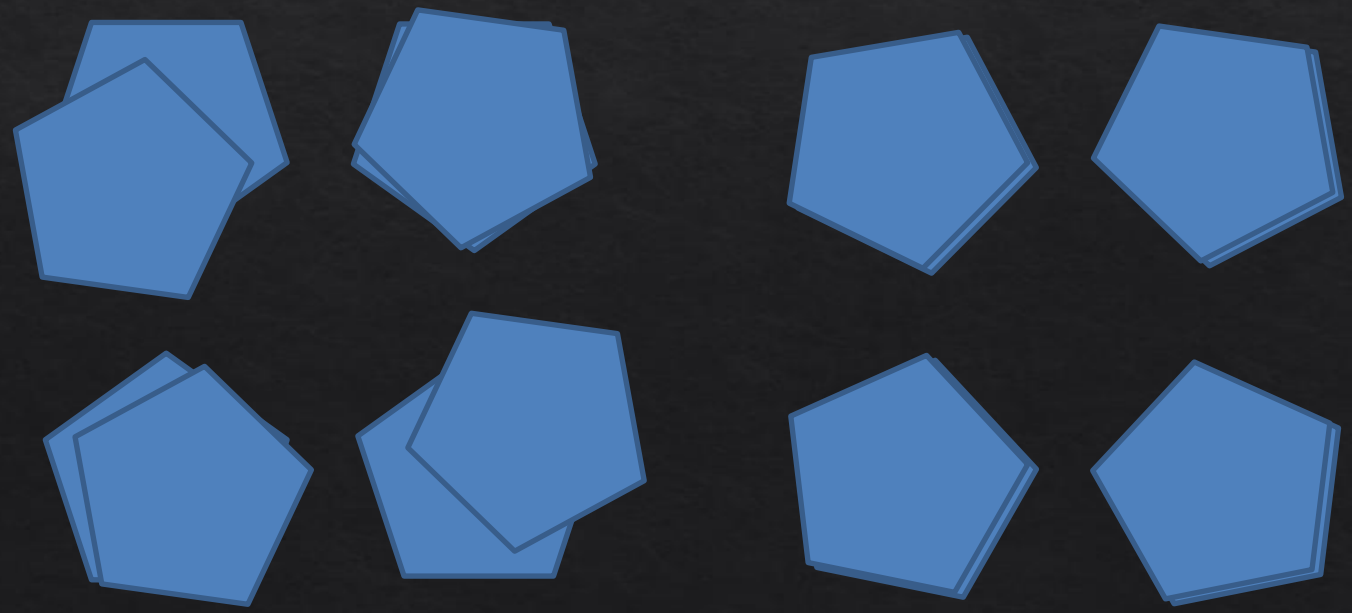
ASSI DI SIMMETRIA DI ORDINE 5 NON ESISTONO



Nei sistemi cristallini gli assi di ordine 5 non sono ammessi.....



pentagonododecaedri, solidi fatti da dodici facce pentagonali sono indicati con il simbolo [5_{12}], mentre i tetracaidecaedri sono indicati con [$5_{12}6_2$] da Domenici V., Lenzi A., Taccone R., 'La Melanoflogite di località Fortullino: uno studio strutturale del minerale', in atti del primo congresso regionale di Scienze Naturali della Toscana "CODICE ARMONICO" ISBN 88-88734-34-1, 44-48 (2006)



Elemento	Melanoflogite non trattata: composizione del solido (mg/kg)	Melanoflogite con predigestione in HCl 37%, per 12 ore: composizione del solido (mg/kg)	mMoli elemento/ raggruppamento SiO2
K	28	26	0,0411
Ca	5636	105	0,1605
Na	63	54	0,1441
Mg	14177	16814	42,4319
Al	149	307	0,6979
Fe	2791	2876	3,1592
Mn	104	56	0,0621
Cr	40	136	0,1607
Ni	52	34	0,0351

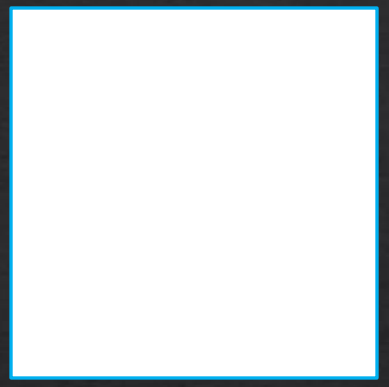
Tabella 1: Analisi elementare della melanoflogite, componenti minori



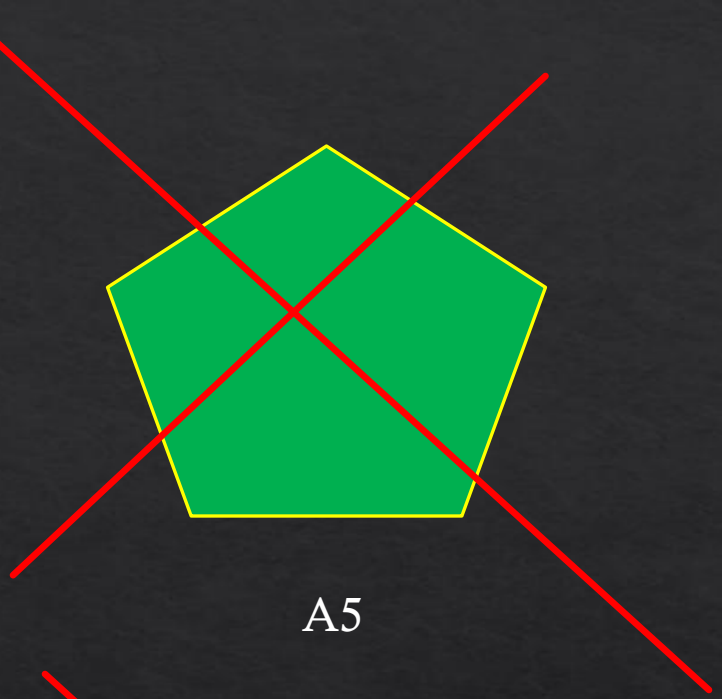
A2



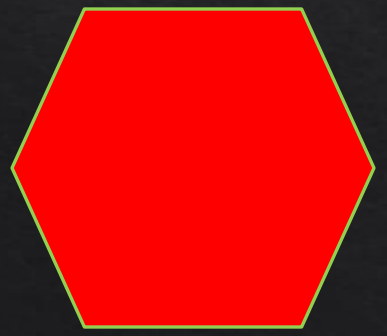
A3



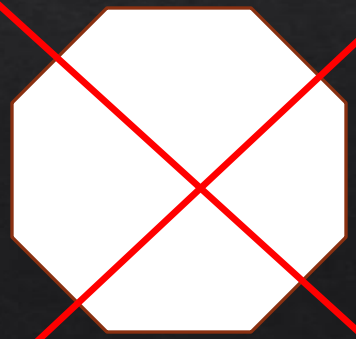
A4



A5



A6



A8



A7



A10

Simboli delle operazioni di simmetria

i ⇔centro di inversione

An (n) ⇔ asse di rotazione di ordine n

$\bar{A}_n$ ⇔ Asse di roto-inversione

m ⇔ piano di riflessione

n/m ⇔ asse di ordine m e piano orizzontale

nm ⇔ asse di ordine n e piano verticale

Gruppi cristallini spaziali

Gruppi cristallini spaziali

Descrivono la simmetria completa di un cristallo, considerando sia la disposizione degli atomi all'interno della cella unitaria che la simmetria del reticolo.
Sono il risultato della combinazione di operazioni di simmetria puntuale (rotazioni, riflessioni, inversioni) con operazioni di traslazione.

Esistono **230 gruppi spaziali**, che classificano tutti i possibili modi in cui gli atomi possono essere disposti in un cristallo.

Gruppi/Sistemi/Classi puntuali

Gruppi/Sistemi/Classi puntuali

Descrivono la simmetria di un cristallo considerando solo le operazioni di simmetria che lasciano un punto fisso (operazioni di simmetria puntuale).
La classificazione prevede il raggruppamento in

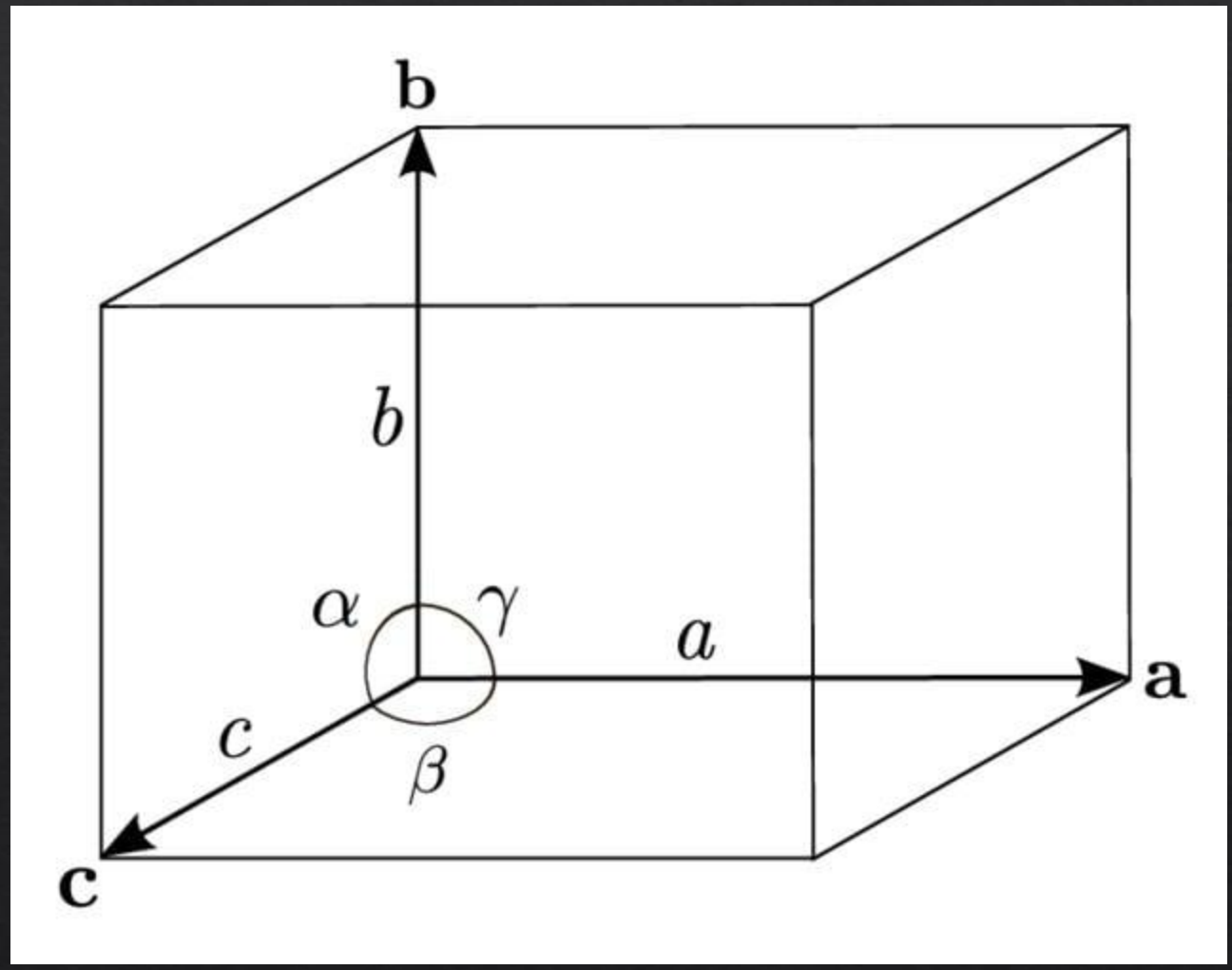
3 Gruppi (mnometrico, dimetrico, trimetrico)

7 Sistemi cristallini:

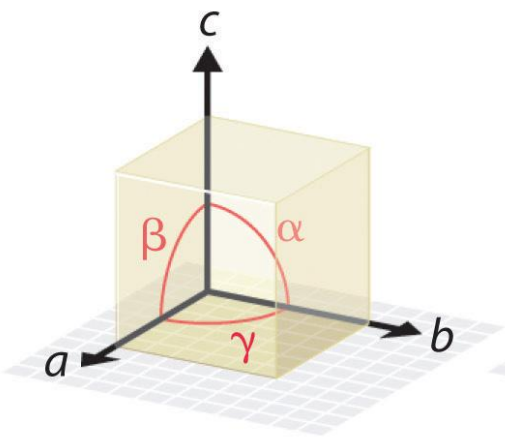
- Suddividono i cristalli in 7 categorie (triclino, monoclino, ortorombico, tetragonale, trigonale, esagonale e cubico) in base alle simmetrie del loro reticolo.
- Ogni sistema è caratterizzato da specifiche relazioni tra gli assi cristallografici e gli angoli tra di essi.

Classi puntuali:

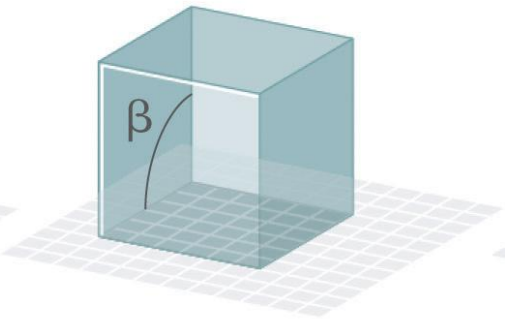
- Esistono **32 classi puntuali**, ciascuna corrispondente a una specifica combinazione di operazioni di simmetria.
- Le classi puntuali determinano la simmetria esterna (morfologia) del cristallo.
- Sono la rappresentazione matematica delle classi puntuali.
- Descrivono l'insieme di tutte le operazioni di simmetria che lasciano un punto del cristallo invariato.


b
b
α
γ
a
a
c
β
c

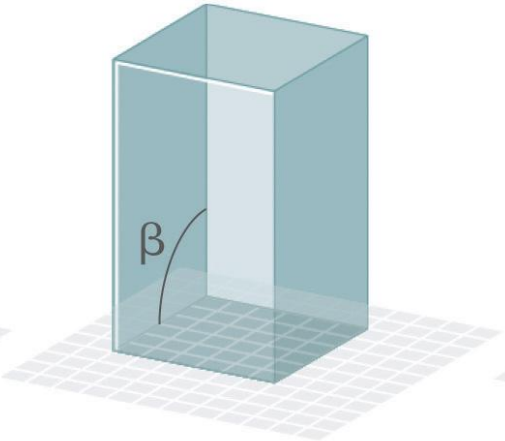
GRUPPI	SISTEMI	CLASSI	parametri di cella	angoli di cella	SIMBOLI DI SHOENFLESS	Tavole internazionali (simbologia ridotta)	Tavole internazionali (simbologia completa)	Elementi di simmetria puntuali
TRIMETRICO	TRICLINO	Pediale	a ≠ b ≠ c	α ≠ β ≠ γ ≠ 90°	C_1	1	1	none
		Pinacoidale	a ≠ b ≠ c	α ≠ β ≠ γ ≠ 90°	C_i	$\bar{1}$	$\bar{1}$	i
	MONOCLINO	Sfenoidale	a ≠ b ≠ c	α = β = 90° γ ≠ 90°	C_2	2	2	$1A_2$
		Domatica	a ≠ b ≠ c	α = β = 90° γ ≠ 90°	C_s	m	m	1m
		Prismatica	a ≠ b ≠ c	α = β = 90° γ ≠ 90°	C_{2h}	2/m	2/m	i, $1A_2$, 1m
	(ORTO)ROMBICO	Bisfenoidale rombica	a ≠ b ≠ c	α = β = γ = 90°	D_2	222	222	$3A_2$
		Piramidale rombica	a ≠ b ≠ c	α = β = γ = 90°	C_{2v}	mm2	mm2	$1A_2$, 2m
		Bipiramidale rombica	a ≠ b ≠ c	α = β = γ = 90°	D_{2h}	mmm	2/m 2/m 2/m	i, $3A_2$, 3m
DIMETRICO	TETRAGONALE	Bisfenoidale tetragonale	a = b ≠ c	α = β = γ = 90°	C_4	4	4	$1A_4$
		Scalenoedrica tetragonale	a = b ≠ c	α = β = γ = 90°	S_4	$\bar{4}$	$\bar{4}$	$\bar{A}_4$
		Trapezoedrica tetragonale	a = b ≠ c	α = β = γ = 90°	C_{4h}	4/m	4/m	i, $1A_4$, 1m
		Piramidale ditetragonale	a = b ≠ c	α = β = γ = 90°	D_4	422	422	$1A_4$, $4A_2$
		Piramidale tetragonale	a = b ≠ c	α = β = γ = 90°	C_{4v}	4mm	4mm	$1A_4$, 4m
		Bipiramidale tetragonale	a = b ≠ c	α = β = γ = 90°	D_{2d}	$\bar{4}2m$ o $\bar{4}m2$	$\bar{4}2m$ o $\bar{4}m2$	$1\bar{A}_4$, $2A_2$, 2m
		Bipiramidale ditetragonale	a = b ≠ c	α = β = γ = 90°	D_{4h}	4/mmm	4/m 2/m 2/m	i, $1A_4$, $4A_2$, 5m
	TRIGONALE	Romboedrica trigonale	a = b =c	α = β = γ ≠ 90°	C_3	3	3	$1A_3$
		Trapezoedrica trigonale	a = b =c	α = β = γ ≠ 90°	C_{3i}	$\bar{3}$	$\bar{3}$	$1\bar{A}3$
		Piramidale ditrigonale	a = b =c	α = β = γ ≠ 90°	D_3	32 o 321 o 312	32 o 321 o 312	$1A_3$, $3A_2$
		Piramidale trigonale	a = b =c	α = β = γ ≠ 90°	C_{3v}	3m o 3m1 o 31m	3m o 3m1 o 31m	$1A_3$, 3m
		Bipiramidale trigonale	a = b =c	α = β = γ ≠ 90°	D_{3d}	$\bar{3}m$ o $\bar{3}m1$ o $\bar{3}1m$	$\bar{3}2/m$ o $\bar{3}2/m1$ o $\bar{3}12/m$	$1\bar{A}_3$, $3A_2$, 3m
		Bipiramidale ditrigonale	a = b =c	α = β = γ ≠ 90°	C_6	6	6	$1A_6$
		Scalenoedrica ditrigonale	a = b =c	α = β = γ ≠ 90°	C_{3h}	$\bar{6}$	$\bar{6}$	$1\bar{A}6$
	ESAGONALE	Trapezoedrica esagonale	a = b ≠ c	α = β = 90°, γ = 120°	C_{6h}	6/m	6/m	i, $1A_6$, 1m
		Piramidale esagonale	a = b ≠ c	α = β = 90°, γ = 120°	D_6	622	622	$1A_6$, $6A_2$
		Piramidale diesagonale	a = b ≠ c	α = β = 90°, γ = 120°	C_{6v}	6mm	6mm	$1A_6$, 6m
		Bipiramidale esagonale	a = b ≠ c	α = β = 90°, γ = 120°	D_{3h}	$\bar{6}m2$ *o* $\bar{6}2m$	$\bar{6}m2$ *o* $\bar{6}2m$	$1\bar{A}_6$, $3A_2$, 3m
		Bipiramidale diesagonale	a = b ≠ c	α = β = 90°, γ = 120°	D_{6h}	6/mmm	6/m 2/m 2/m	i, $1A_6$, $6A_2$, 7m
MONOMETRICO	CUBICO	Pentagonododecaedrica-tetraedrica	a=b=c	α = β = γ = 90°	T	23	23	$3A_2$, $4A_3$
		Diacisdodecaedrica	a=b=c	α = β = γ = 90°	T_h	$m\bar{3}$	$2/m\bar{3}$	$3A_2$, 3m, $4\bar{A}_3$
		Esacistetraedrica	a=b=c	α = β = γ = 90°	O	432	432	$3A_4$, $4A_3$, $6A_2$
		Pentagonoicositetraedrica	a=b=c	α = β = γ = 90°	T_d	$\bar{4}3m$	$\bar{4}3m$	$3\bar{A}_4$, $4A_3$, 6m
		Esacisottaedrica	a=b=c	α = β = γ = 90°	O_h	$m\bar{3}m$	$4/m\bar{3}\,2/m$	$3A_4$, $4\bar{A}_3$, $6A_2$, 9m



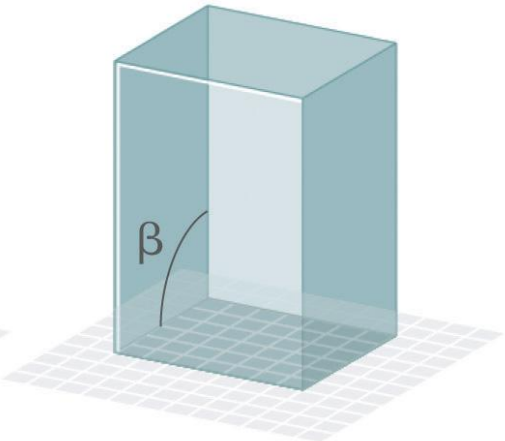
Edges and angles



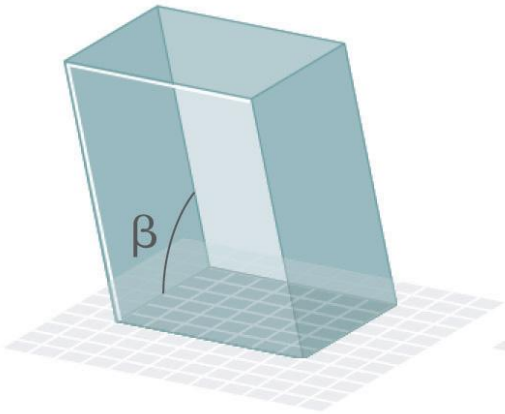
Cubic
$a = b = c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$



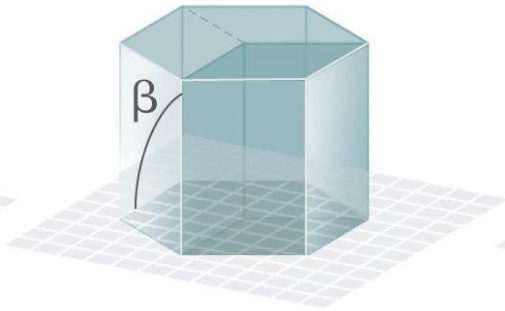
Tetragonal
$a = b \neq c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$



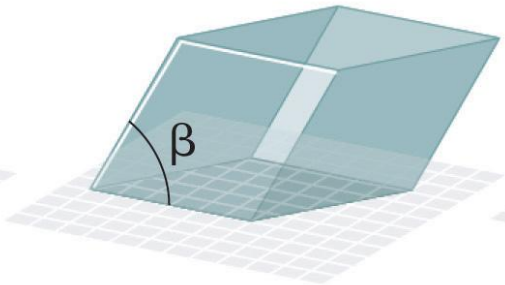
Orthorhombic
$a \neq b \neq c$
$\alpha = \beta = \gamma = 90°$



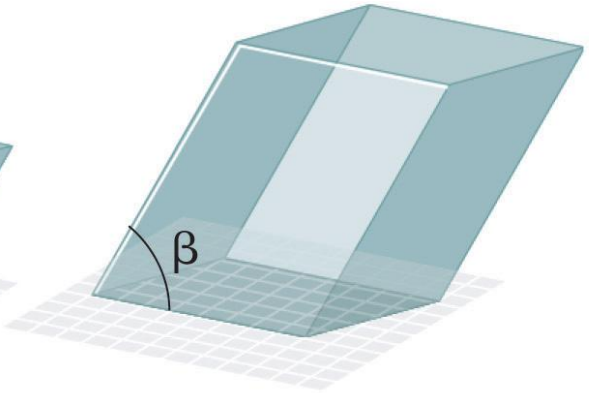
Monoclinic
$a \neq b \neq c$
$\alpha = \gamma = 90° \neq \beta$



Hexagonal
$a = b \neq c$
$\alpha = \beta = 90°, \gamma = 120°$

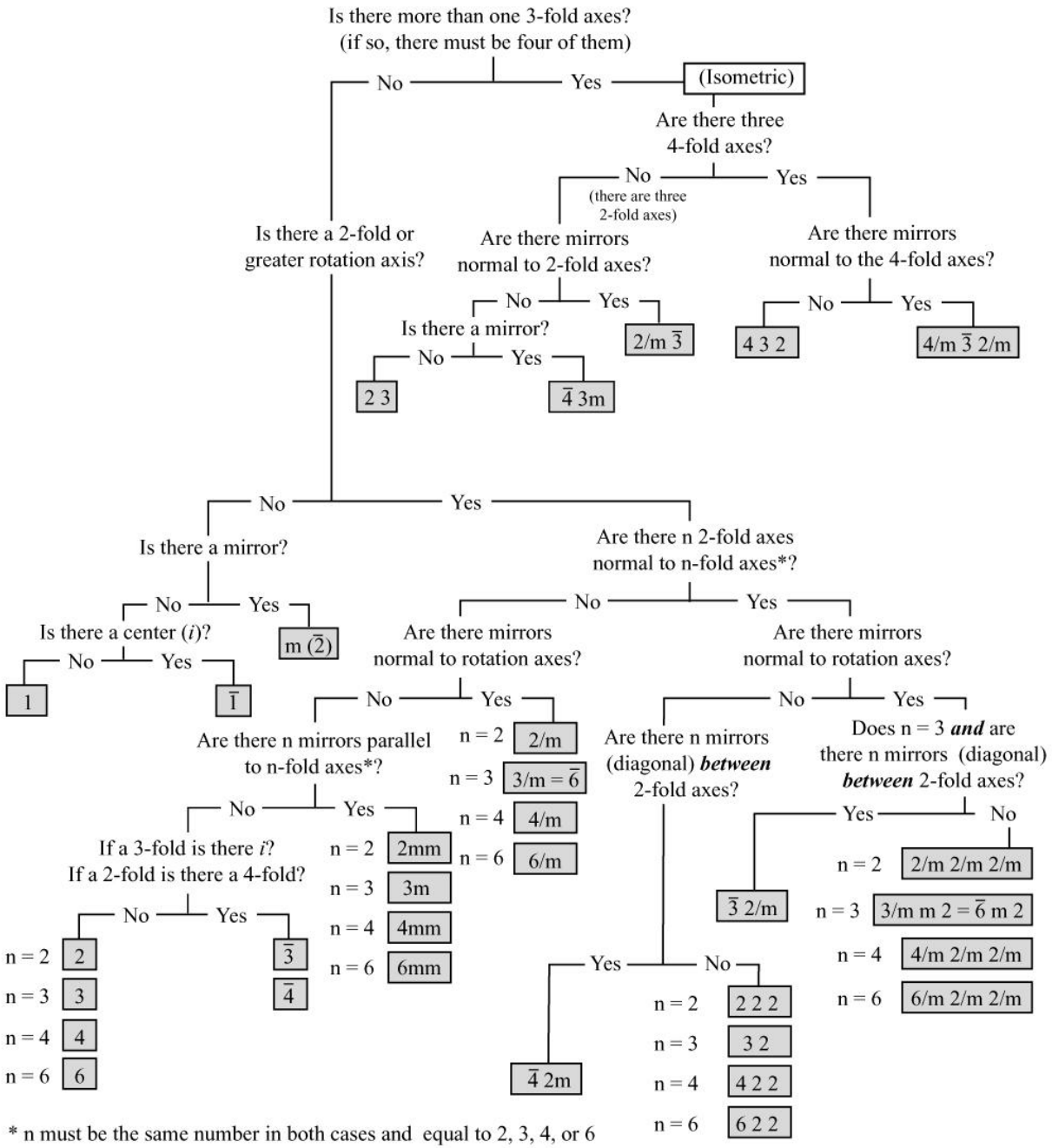


Rhombohedral
$a = b = c$
$\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$



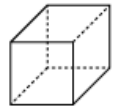
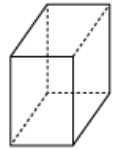
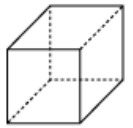
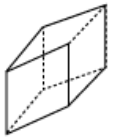
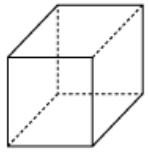
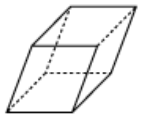
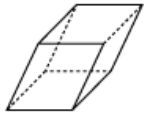
Triclinic
$a \neq b \neq c$
$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$

Flow Chart for Determining 3-D Point Group



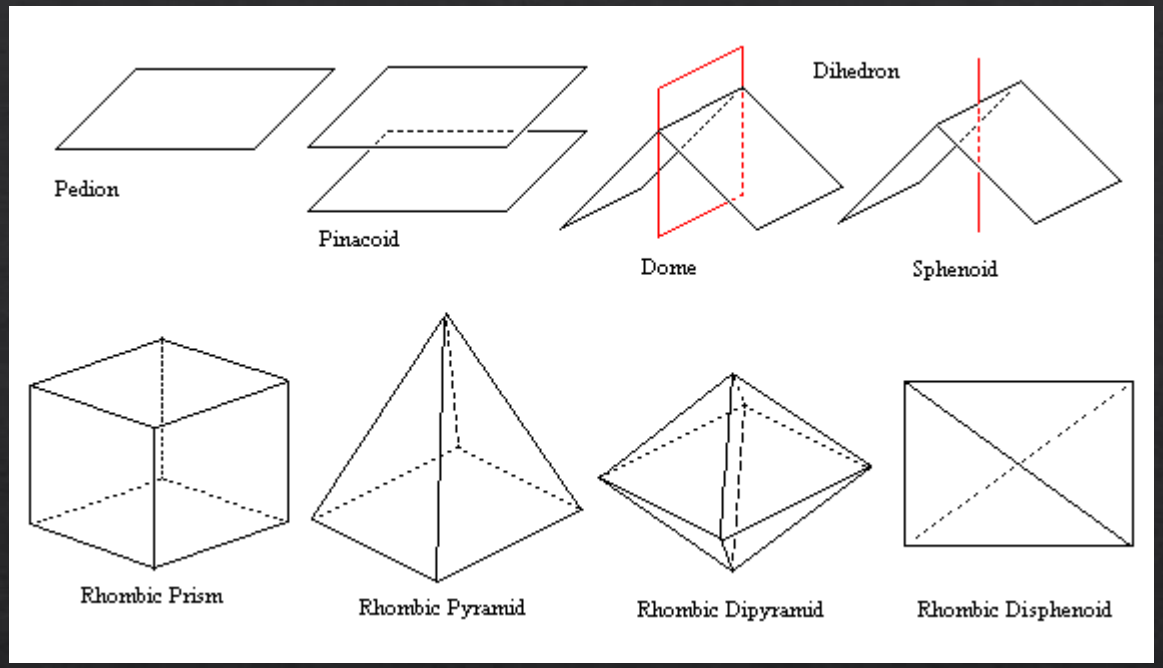
* n must be the same number in both cases and equal to 2, 3, 4, or 6

Crystal System Table

System	Axial length	Axial Angle	Unit Cell Geometry
Cubic	a = b = c	α = β = γ = 90°	
Tetragonal	a = b ≠ c	α = β = γ = 90°	
Orthorhombic	a ≠ b ≠ c	α = β = γ = 90°	
Rhombohedral	a = b = c	α = β = γ ≠ 90°	
Hexagonal	a = b ≠ c	α = β = 90°, γ=120°	
Monoclinic	a ≠ b ≠ c	α = γ = 90°, β≠90°	
Triclinic	a ≠ b ≠ c	α ≠ β ≠ γ	

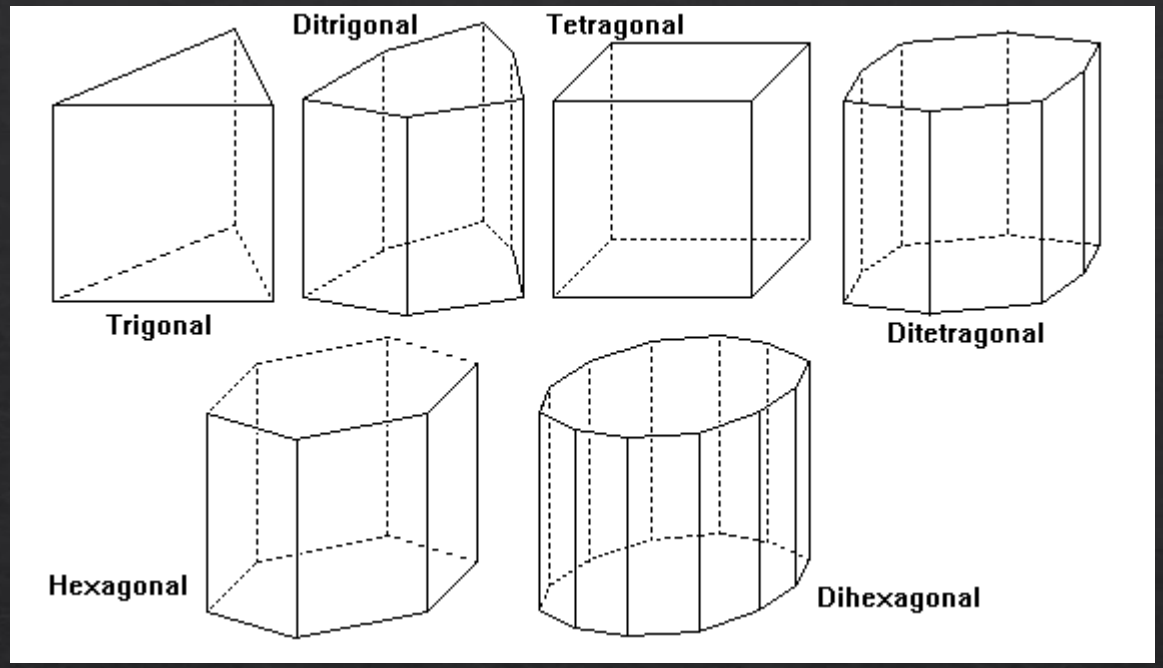
Forme Tricline, Monocline e Ortorombiche (8 forme)

- **Pedion (Pedio):**
  - Una singola faccia non correlata ad altre per simmetria. Forma aperta.
- **Pinacoid (Pinacoide):**
  - Una coppia di facce parallele correlate da un piano speculare o da un asse di simmetria binario. Forma aperta.
- **Dihedron (Diedro):**
  - Una coppia di facce intersecanti correlate da un piano speculare o da un asse di simmetria binario. Alcuni cristallografi distinguono tra "domi" (coppie di facce intersecanti correlate da un piano speculare) e "sfenoide" (coppie di facce intersecanti correlate da un asse di simmetria binario). Tutte sono forme aperte.
- **Pyramid (Piramide):**
  - Un insieme di facce correlate per simmetria e che si incontrano in un punto comune. Forma aperta.



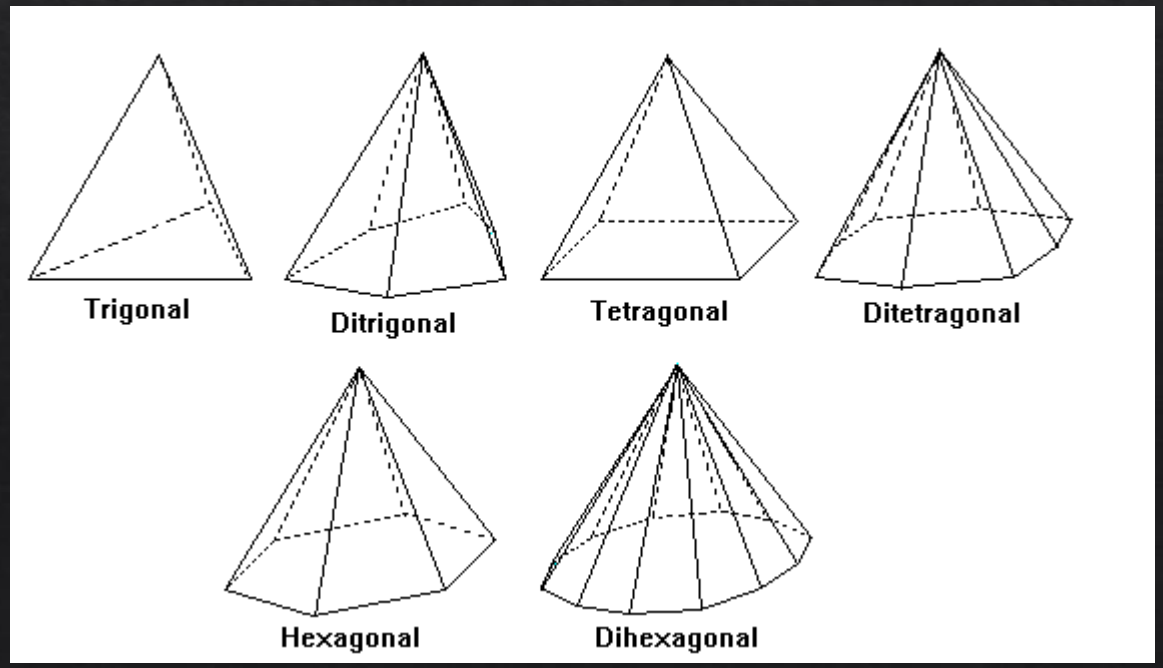
Prismi di ordine 3, 4 e 6 (6 forme)

- Una collezione di facce tutte parallele a un asse di simmetria. Tutte sono forme aperte.



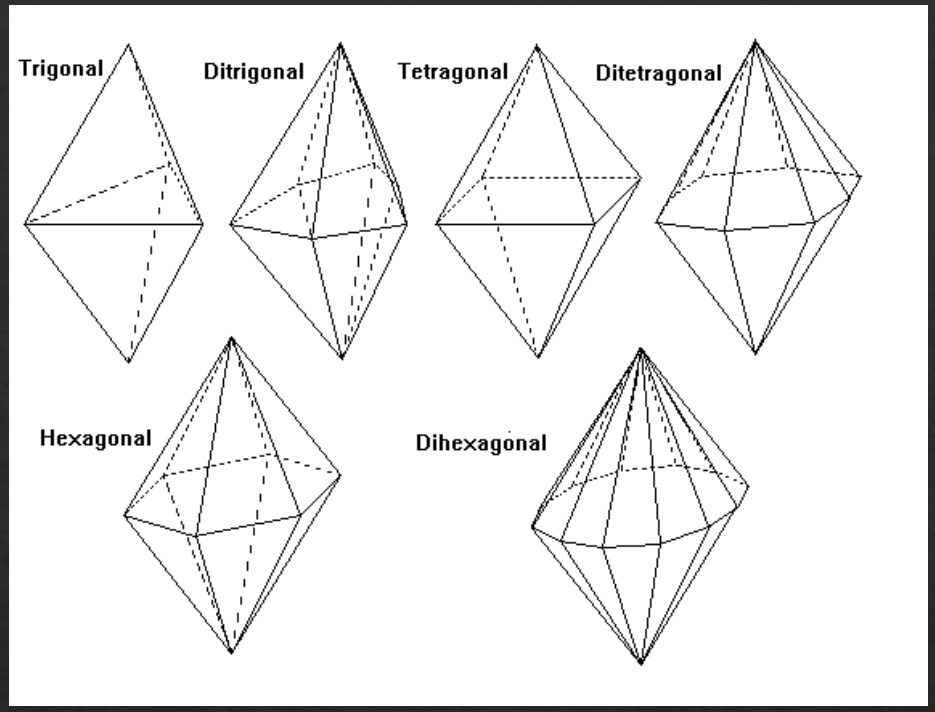
Piramidi di ordine 3, 4 e 6 pieghe (6 forme)

- Un gruppo di facce che si intersecano in un asse di simmetria. Tutte sono forme aperte. La base della piramide sarebbe un pedion.



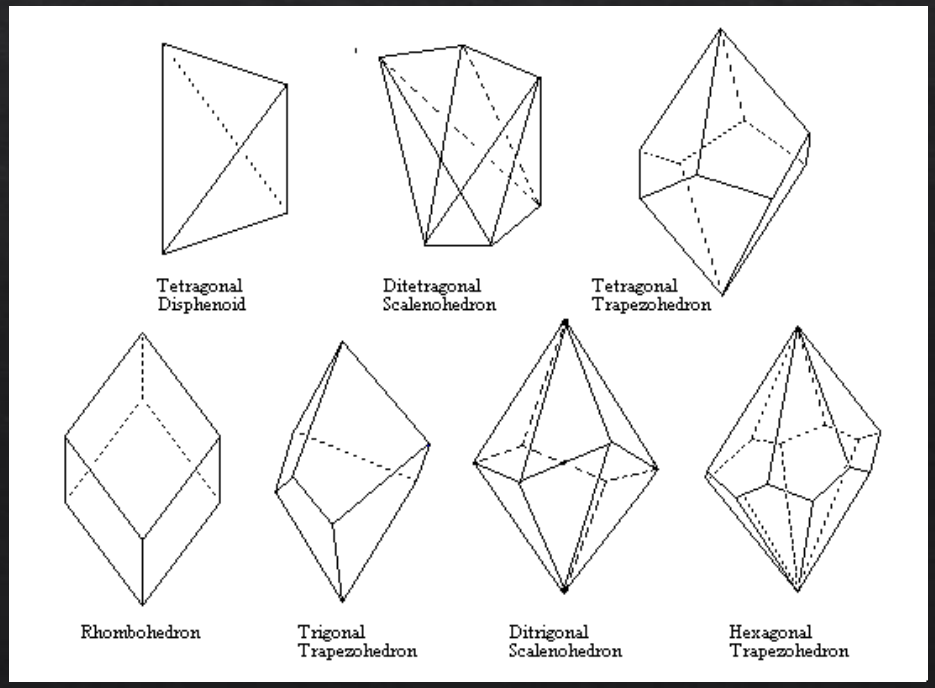
Dipiramidi di ordine 3, 4 e 6 pieghe (6 forme)

- Due piramidi unite base a base lungo un piano speculare. Tutte sono forme chiuse, come tutte le forme seguenti.



Scalenoedri e Trapezoedri (7 forme)

- **Disfenoide:**
  - Un solido con quattro facce triangolari congruenti, simile a un tetraedro distorto. I punti medi dei bordi sono assi di simmetria binari. Nello sfenoide tetragonale le facce sono triangoli isosceli e un asse di inversione quaternario unisce i punti medi delle basi dei triangoli isosceli.
- **Scalenoedro:**
  - Un solido composto da facce triangolari scalene (tutti i lati disuguali).
- **Trapezoedro:**
  - Un solido composto da trapezi (quadrilateri irregolari).
- **Romboedro:**
  - Un solido con sei facce parallelogrammi congruenti. Può essere considerato un cubo distorto lungo uno dei suoi assi di simmetria ternari diagonali.



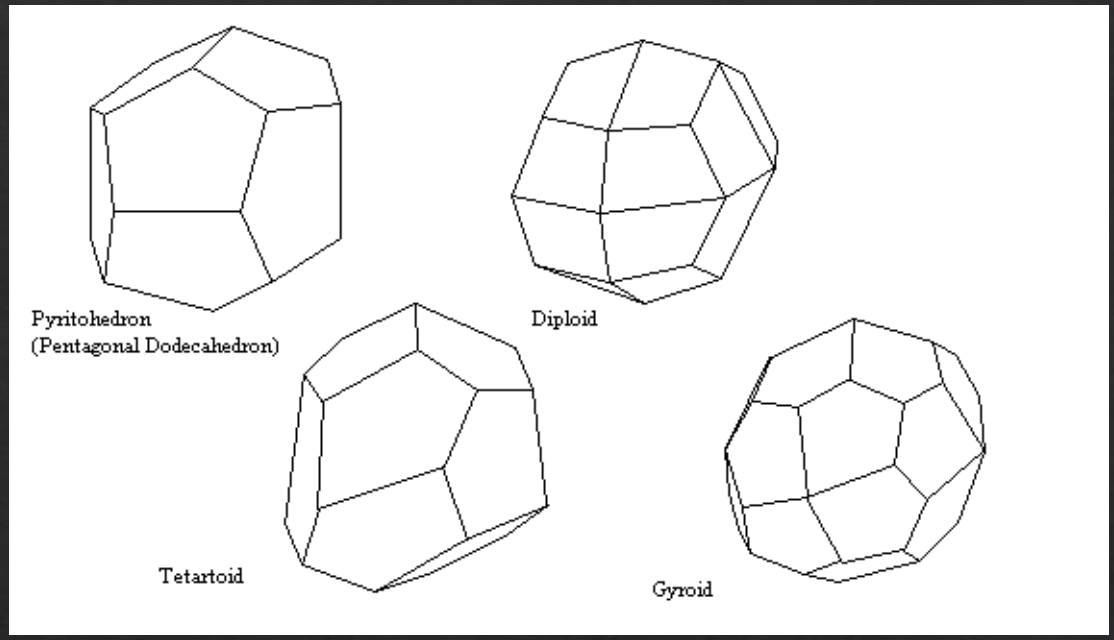
Forme Tetartoidali, Giroedrali e Diploidali (4 forme)

•Tetartoide:
- La forma generale per la classe di simmetria 233. 12 facce pentagonali irregolari congruenti. Il nome deriva da una radice greca per "un quarto" perché è presente solo un quarto delle 48 facce per la simmetria isometrica completa.

•Giroide:
- La forma generale per la classe di simmetria 432. 24 facce pentagonali irregolari congruenti.

•Diploide:
- La forma generale per la classe di simmetria 2/m3*. 24 facce quadrilatere irregolari congruenti. Il nome deriva da una radice latina per "metà", perché è presente la metà delle 48 facce per la simmetria isometrica completa.

•Piritoedro:
- Forma speciale (hk0 es. 2,1,0) della classe di simmetria 2/m3*. Le facce sono ciascuna perpendicolare a un piano speculare, riducendo il numero di facce a 12 facce pentagonali. **Sebbene questo assomigli superficialmente al solido platonico con 12 facce pentagonali regolari, queste facce non sono regolari.**



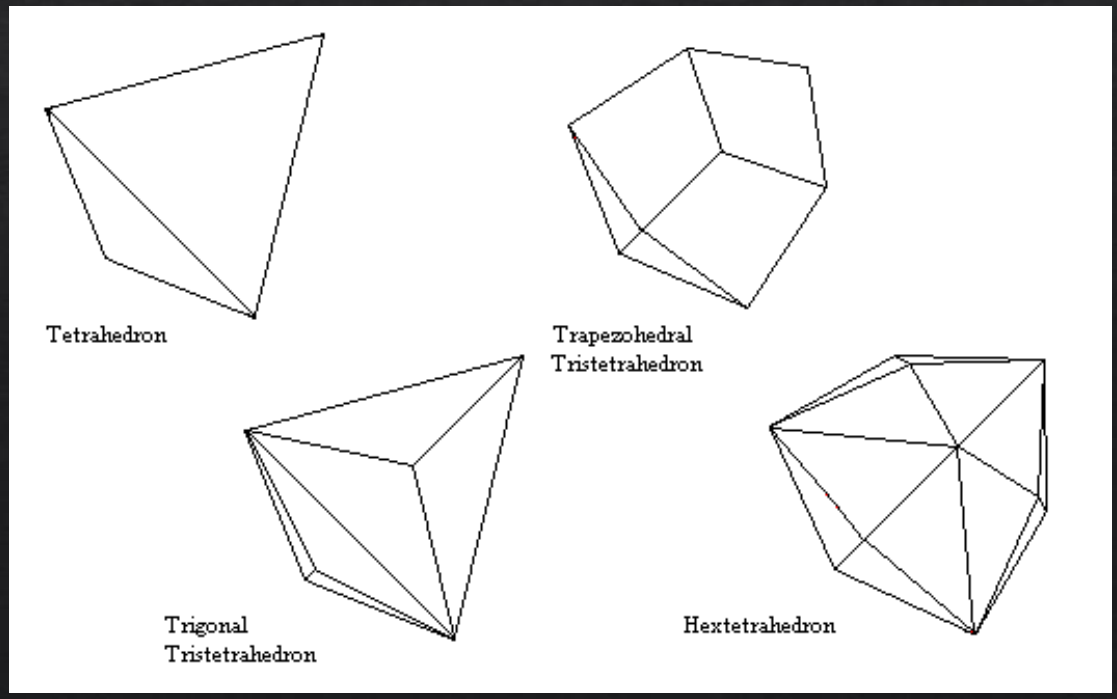
Forme Esatetraedriche (4 forme)

•Tetrahedron (Tetraedro):
- Quattro facce triangolari equilatere (111).

•Trapezohedral Tristetrahedron (Tristetraedro Trapezoedrico):
- 12 facce a forma di aquilone (hll).

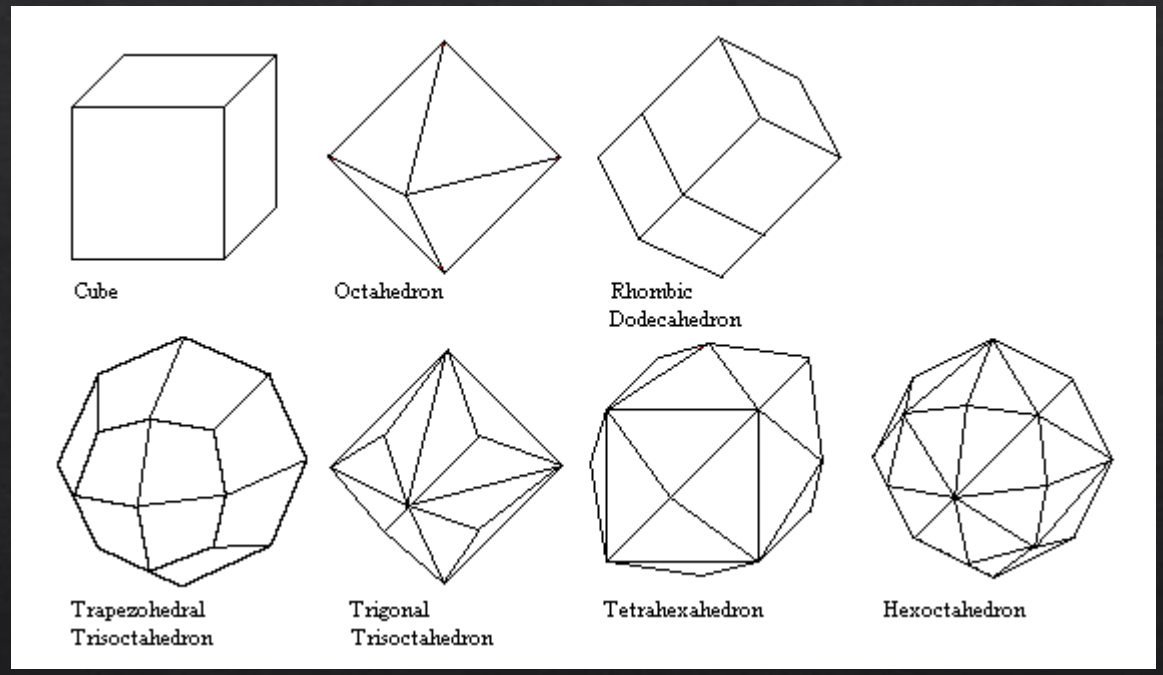
•Trigonal Tristetrahedron (Tristetraedro Trigonale):
- 12 facce triangolari isosceli (hhl). Simile a un tetraedro con una bassa piramide triangolare costruita su ciascuna faccia.

•Hextetrahedron (Esatetraedro):
- 24 facce triangolari (hkl). La forma generale.



Forme Esaottaedriche (7 forme)

- **Cubo:**
  - Sei facce quadrate (100).
- **Ottaedro:**
  - Otto facce triangolari equilatere (111).
- **Dodecaedro Rombico o rombododecaedro:**
  - 12 facce rombiche (110).
- **Trisottaedro Trapezoedrico:**
  - 24 facce a forma di aquilone (hhl). Nota che gli indici di Miller per i due trisottaedri sono opposti a quelli per i tristetraedri.
- **Trisottaedro Trigonale:**
  - 24 facce triangolari isosceli (hll). Simile a un ottaedro con una bassa piramide triangolare costruita su ciascuna faccia.
- **Tetraesaedro:**
  - 24 facce triangolari isosceli (h0l). Simile a un cubo con una bassa piramide costruita su ciascuna faccia.
- **Esaottaedro:**
  - 48 facce triangolari (hkl). La forma generale.



UN ESEMPIO
Gruppo monometrico, sistema cubico,Classe esacisottaedrica, simbolo del gruppo *m3m*

La **classe esacisottaedrica** è una delle 32 classi di simmetria cristallografica, appartenente al sistema cubico. È anche conosciuta come la classe di simmetria del gruppo puntuale *m3m* (o 4/m3/m in notazione Hermann-Mauguin).

Caratteristiche principali:

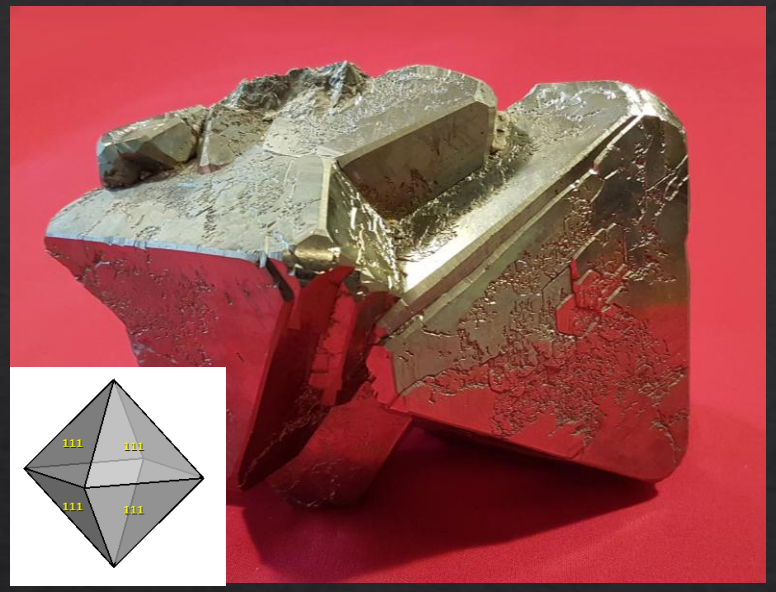
•**Massima simmetria:** questa classe possiede il più alto grado di simmetria tra tutte le classi cristallografiche.

•**Elementi di simmetria:** include i seguenti elementi di simmetria:

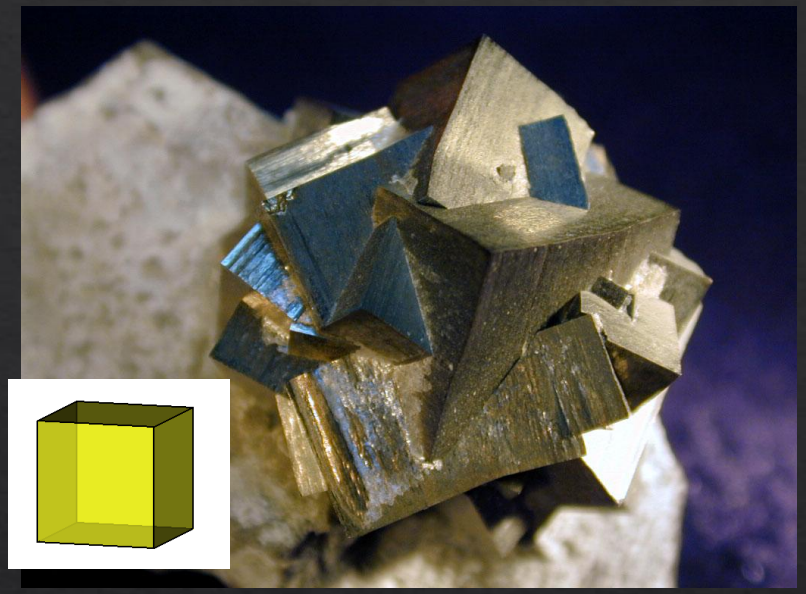
- 3 assi di rotazione quaternari (4-fold)
- 4 assi di rotazione ternari (3-fold)
- 6 assi di rotazione binari (2-fold)
- 9 piani di specchio
- 1 centro di inversione

•**Forme cristalline:** le forme cristalline più comuni associate a questa classe sono il cubo, l'ottaedro, il dodecaedro rombico e l'icositetraedro pentagonale.

Abito Cristallino (Habitus) e forme cristalline



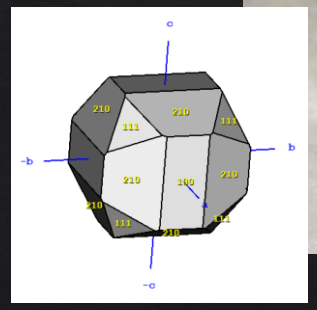
Pirite ottaedrica {111}



Pirite cubica {100}



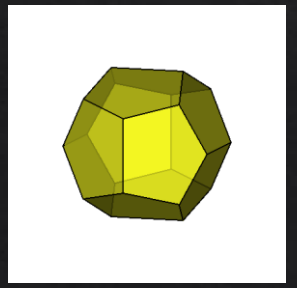
Pirite pentagonododecaedrica {210}



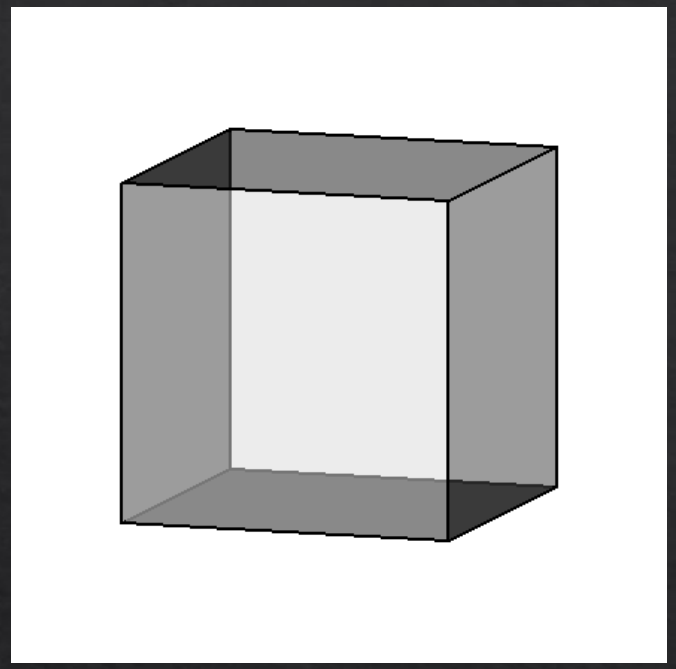


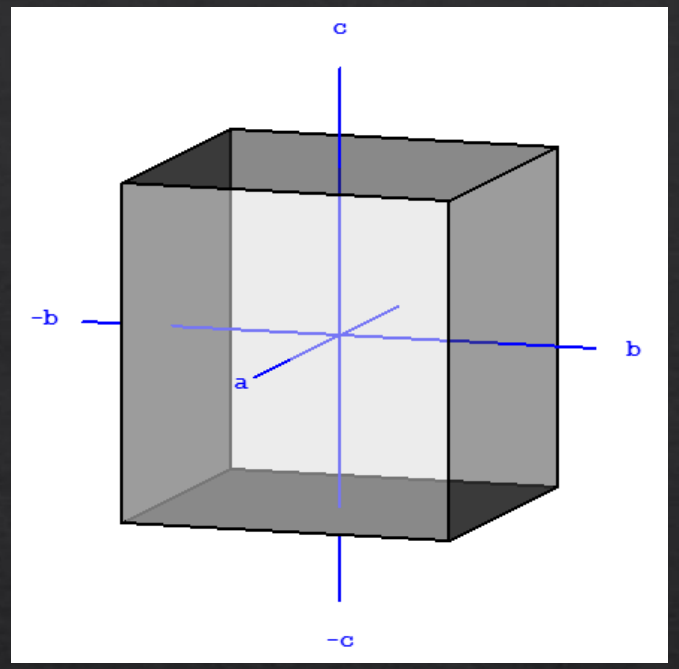


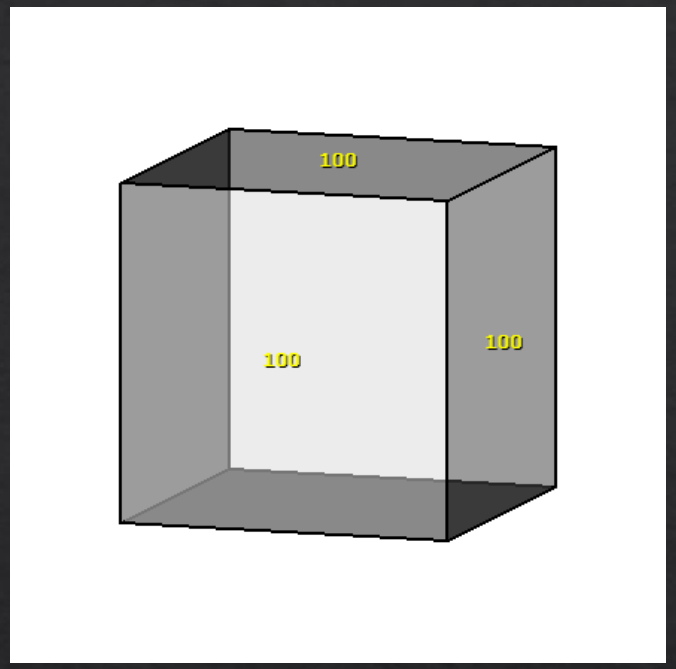
Pirite pentagonododecaedrica {210}

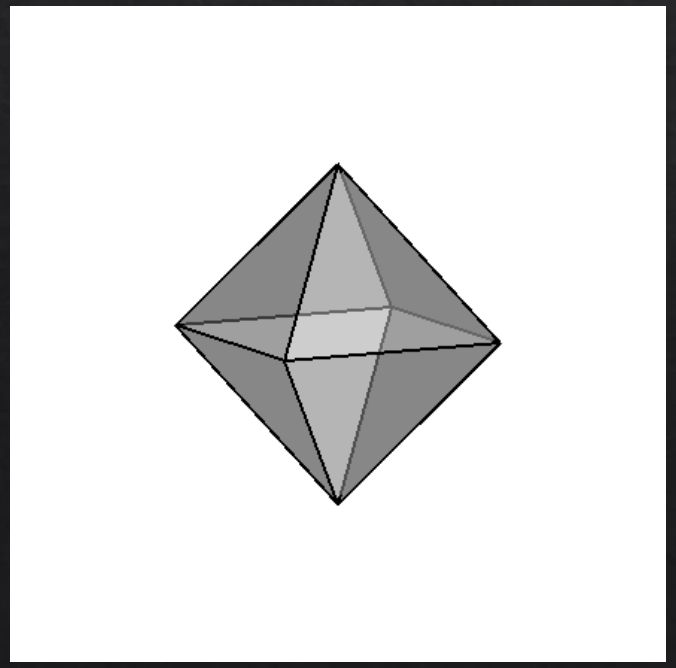


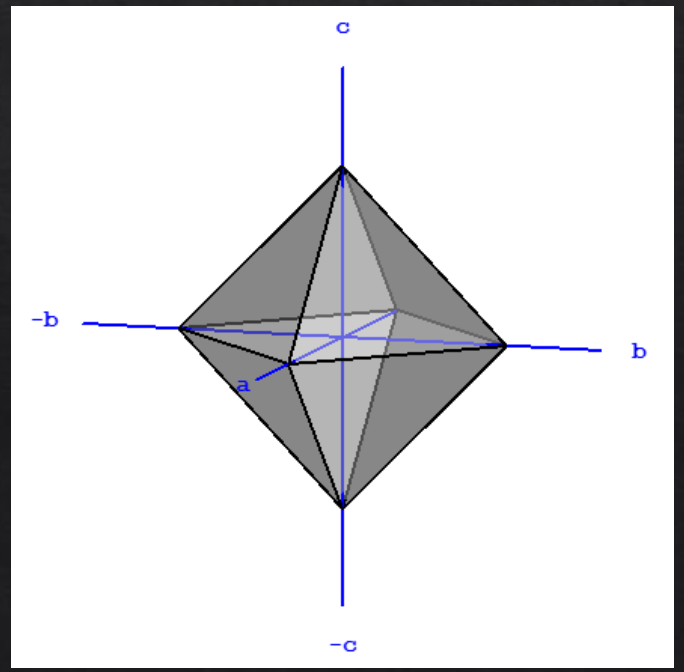
Gruppo monometrico, Sistema cubico, classe Esacisottaedrica sviluppo delle forme {1,0,0} cubo e {1,1,1} ottaedro: $m\bar{3}m$

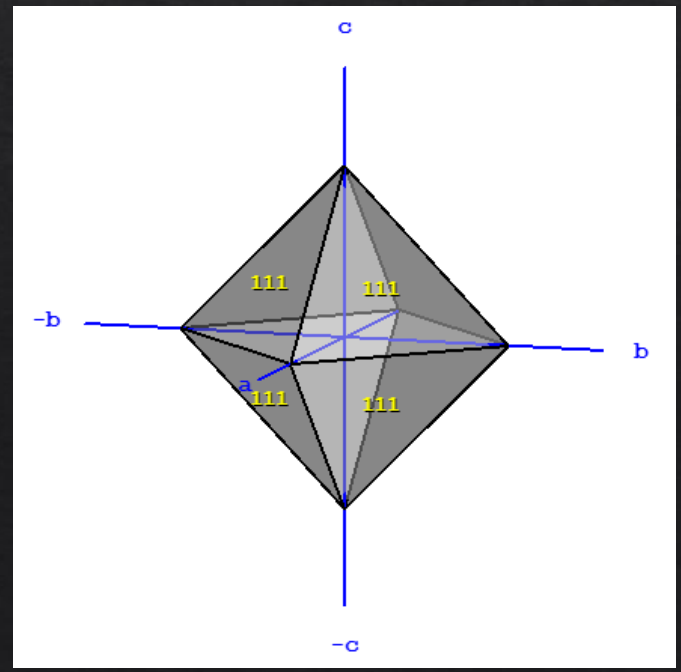


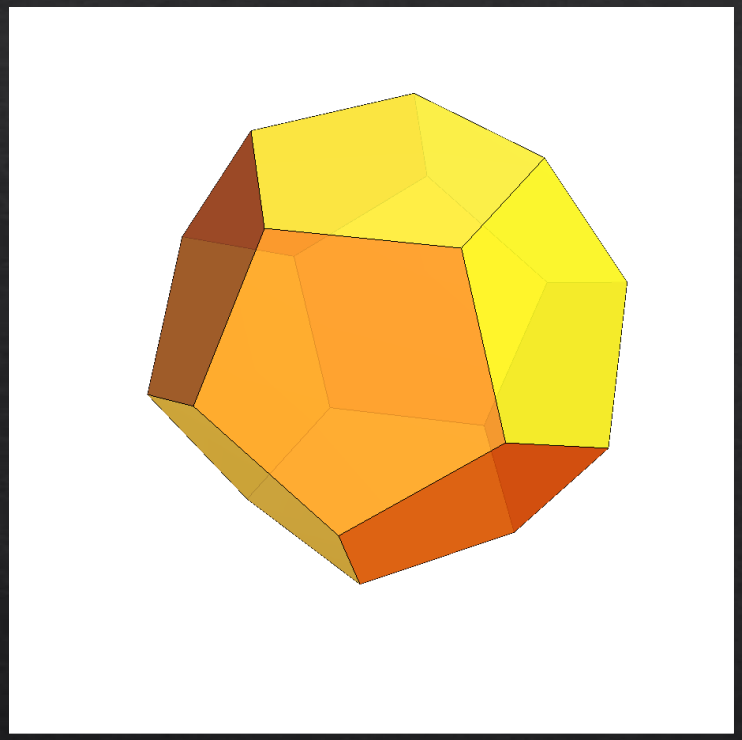




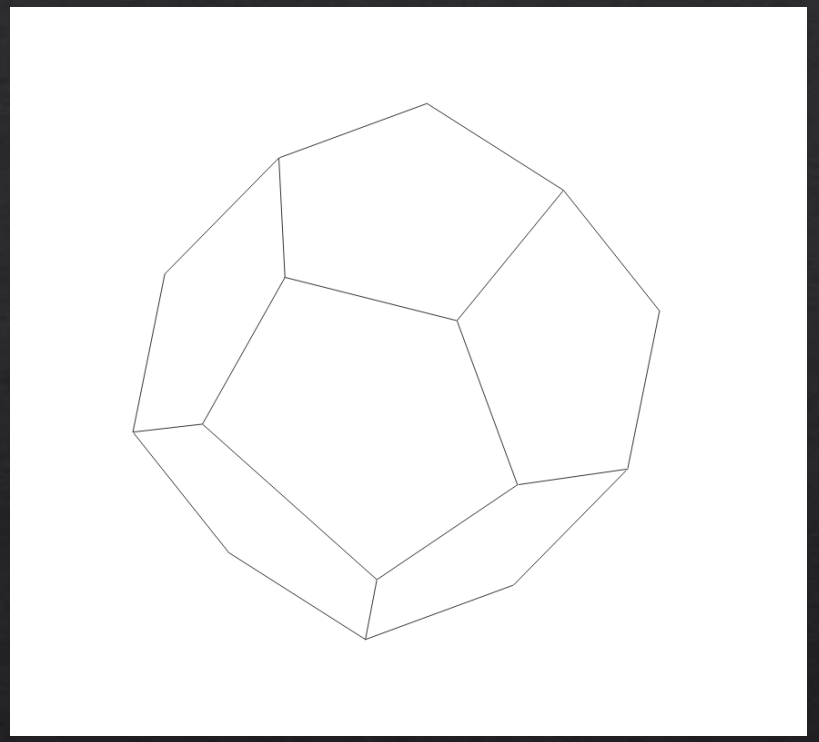








Pentagonododecaedro regolare





Piritoedro: vista del modello tridimensionale e foto di un cristallo di pirite

Habitus (o abito cristallino)

L’habitus è l’aspetto esterno di un cristallo: la forma con cui effettivamente si presenta in natura.
Dipende da:

- Simmetria del reticolo cristallino
- Condizioni di crescita: temperatura, pressione, spazio disponibile, composizione chimica, disturbi esterni
- Sviluppo più o meno completo delle facce cristalline (euedrale, subedrale, anedrale)

In altre parole: **È la forma reale che un minerale assume durante la crescita**.
Esempi di habitus sono:

- Habitus cubico, prismatico, fibroso, tabulare, lamellare, aciculare, romboedrico

Sistema cristallino

Il sistema cristallino riguarda invece la struttura interna del minerale: il modo in cui gli atomi sono organizzati in un reticolo cristallino ordinato e periodico.
È un concetto cristallografico e geometrico ed è indipendente dall'aspetto esterno reale del cristallo (che può essere deformato o incompleto).
I 7 sistemi cristallini sono:

- Cubico
- Tetragonale
- Esagonale
- Trigonale
- Ortorombico
- Monoclino
- Triclino.

Esso rappresenta la simmetria interna del minerale, definita dal reticolo cristallino.

Esempio per chiarire - La pirite appartiene al sistema cristallino cubico, quindi internamente presenta simmetria cubica ma può mostrare diversi habitus a seconda delle condizioni di crescita. Cubico, Ottaedrico, Dodecaedrico



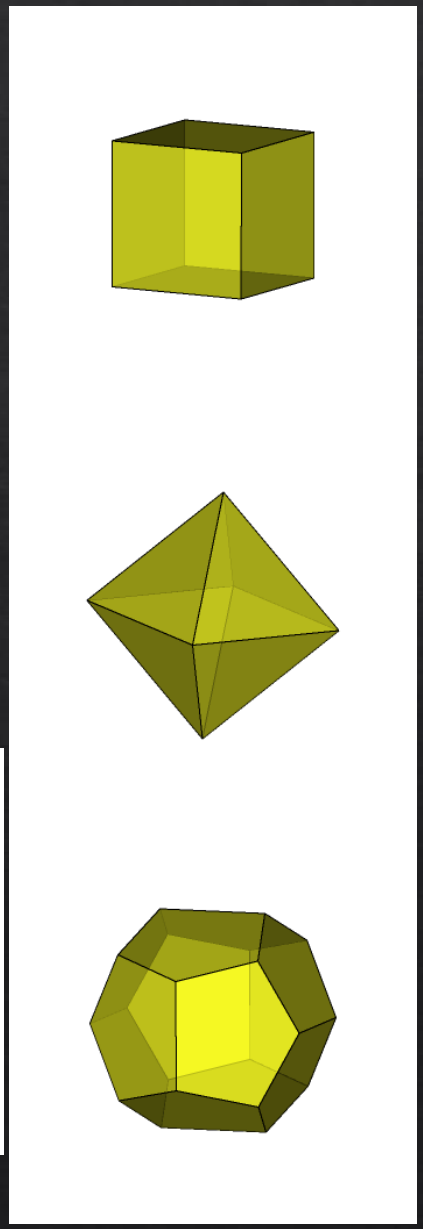
Pirite, habitus



Pirite, habitus



Pirite, habitus

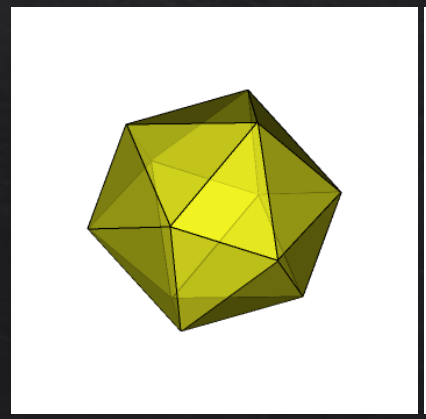


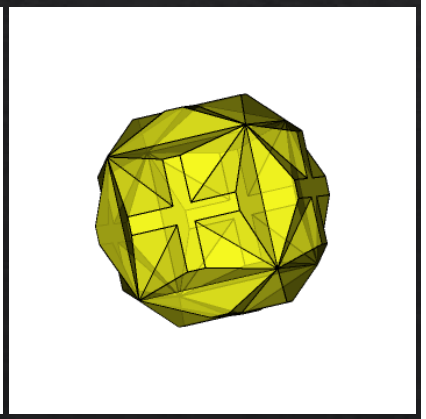


Pirite, habitus



Pirite, habitus









Pirite, FeS_2, Rosales Perù
coll. e foto A. Lenzi

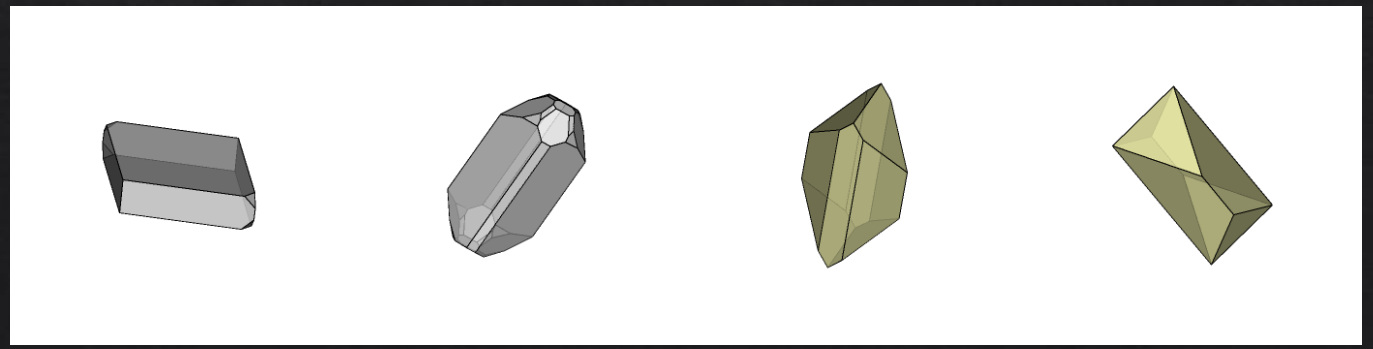


Anglesite $PbSO_4$ – Toussit Marocco



Anglesite $PbSO_4$ in scoria di fusione - Val Canina (Sassetta)

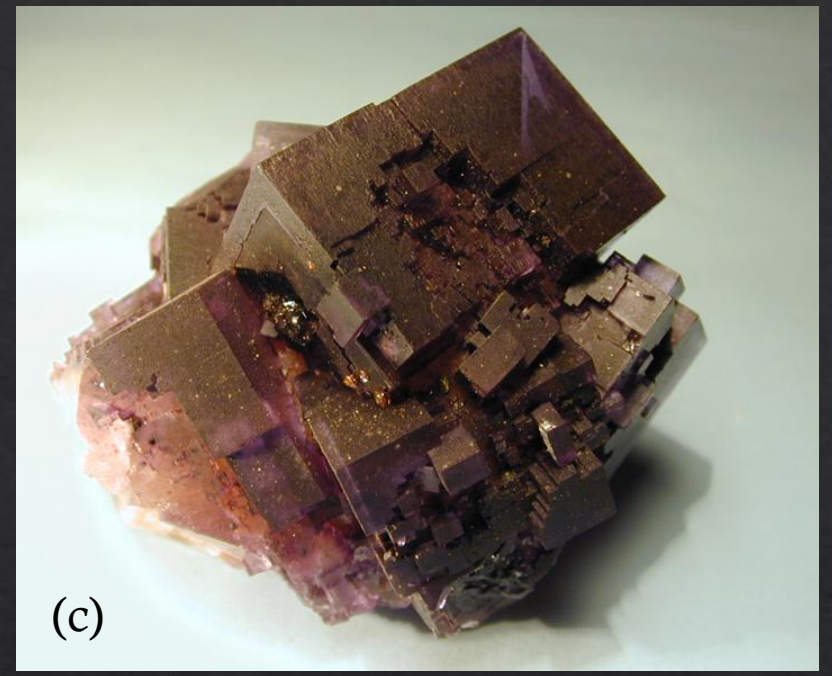
Formula: $PbSO_4$
Colore: Incolore o bianco, spesso tinto di grigio, giallo, verde o blu;
incolore nella luce trasmessa.
Lucentezza: Adamantina, Vitrea, Resinosa
Durezza: 2½ - 3
Gravità Specifica (massa volumica o densità relativa: 6.37 - 6.39
Sistema cristallino: Orthorhombic
Membro di: Gruppo della Barite



Forme cristallografiche dell'Anglesite: Habitus









Fluorite CaF_2 (a) Spagna, (b) illinois USA, (c) Illinois USA, (d) Campiano Grosseto
Gruppo monometrico
Sistema cubico

Polimorfismo e Isomorfismo

Il polimorfismo è un fenomeno ampio nel quale sono coinvolti molti aspetti di natura sia chimica che fisica e si riferisce a tutti i composti o elementi che possono presentarsi, ad una osservazione diretta, dotati di forme esterne diverse. Vediamone alcuni semplici esempi:

Zolfo Può cristallizzare ortorombico, monoclino o essere semplicemente amorfo. I cristalli di Zolfo monoclino e ortorombico sono costituiti da cicli di S_8 che nei due casi sono impacchettati diversamente. Nello Zolfo amorfo si ha una distribuzione disordinata dei cicli che possono intersecarsi tra di loro o spezzarsi in filamenti che contribuiscono a dare una massa priva di forma.

Calcite e aragonite sono entrambe forme di carbonato di calcio nelle quali le unita' fondamentali sono lo ione Ca^{2+} e il gruppo anionico CO_3^{2-}; l'aragonite ha struttura cristallina con simmetria ortorombica, mentre la calcite ha simmetria trigonale.

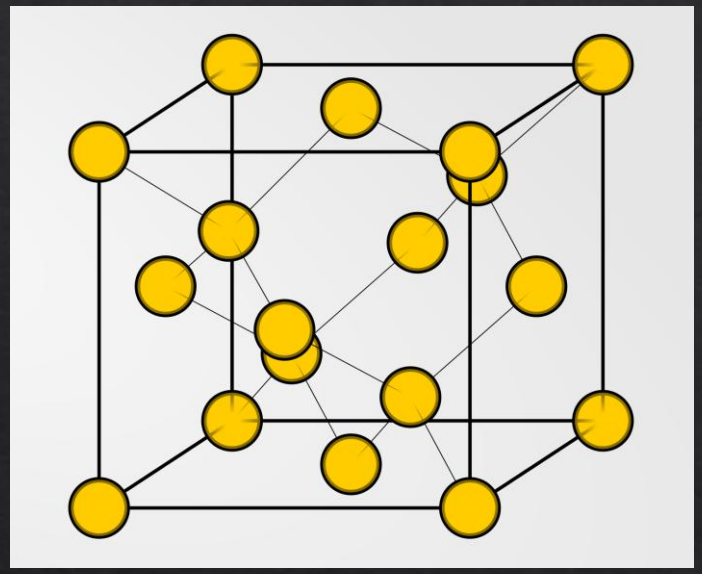
Quarzo 'alfa' destro e sinistro Questo caso viene erroneamente definito di polimorfismo, in realtà quarzo 'destro' e quarzo 'sinistro' vanno considerati due 'varieta' della SiO_2. Infatti le unita' 'destre' e 'sinistre' che si corrispondono sono diverse, come accade per molte specie organiche in cui si distinguono molecole destre e sinistre dotate di diversa attivita' biologica e verso le quali organismi ed altre sostanze mostrano un comportamento selettivo, proprio come se fossero materiali del tutto distinti.

Sono detti **isomorfi** tutti i cristalli che hanno esattamente lo stesso tipo di struttura cristallina geometrica *e nei quali, contemporaneamente, le coppie di atomi corrispondenti sono legati da forze di legame dello stesso tipo*. Spesso i cristalli isomorfi si assomigliano molto per **aspetto esterno**. Questa somiglianza, che si spinge dalla somiglianza geometrica a quella delle forze di legame, si manifesta macroscopicamente proprio nella **forma** dei cristalli, come osservò per primo **E. Mitscherlich** nel 1819 sui cristalli tetragonali di KH_2PO_4, KH_2AsO_4, $NH_4H_2PO_4$.
Ovviamente la somiglianza di aspetto esterno, non implica affatto che anche le proprietà fisiche debbano essere le stesse. L'isomorfismo spesso è stato identificato in passato alla possibilità di dare **soluzioni solide omogenee**, in realtà questa capacità non implica sempre isostrutturalità. Un tipico esempio di cristalli non isostrutturali ma che mostrano serie continue di soluzioni solide, in condizioni di alta temperatura, è dato dai ***plagioclasi***, intermedi per composizione fra anortite $CaAl_2Si_2O_8$ ed albite $NaAlSi_3O_8$. La possibilità di dare luogo al fenomeno della miscibilità allo stato solido è legata al fenomeno della **vicarianza** fra atomi, determinato dalla compatibilità delle dimensioni atomiche e ioniche in relazione a ben determinate strutture, ma anche dalle condizioni di pressione e temperatura.

Sono *vicarianti* atomi o ioni che possono facilmente sostituirsi a seconda della struttura del cristallo, dei raggi ionici e quindi delle dimensioni degli stessi atomi, mentre la carica, o valenza, influisce molto meno poiché per le cariche vi sono molte possibilità di compensazione.

POLIMORFISMO

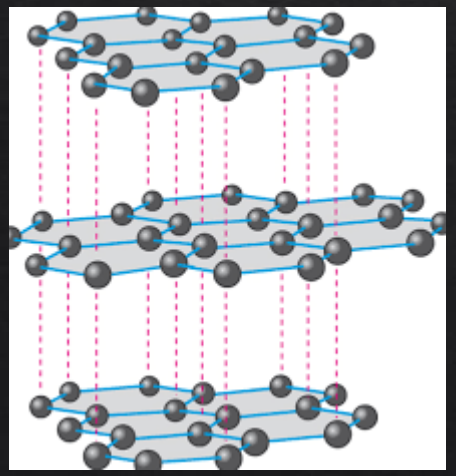
In cristallochimica, il **polimorfismo** è la capacità di una sostanza minerale di esistere in diverse forme cristalline, chiamate **polimorfi.** Una stessa sostanza può avere diverse strutture cristalline a seconda delle condizioni ambientali come temperatura e pressione.



Struttura del diamante - ogni atomo di carbonio è legato con legame covalente ad altri 4 atomi tra i primi vicini in una struttura altamente compatta e con legami distribuiti sull'intero reticolo che determina le grandi proprietà di durezza di questo materiale



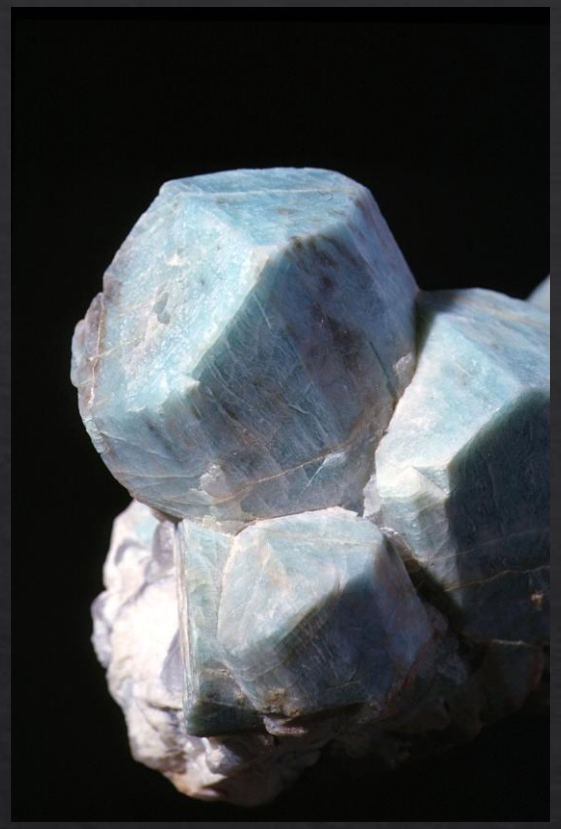
Diamante, C, Gruppo Monometrico, Sistema Cubico, Classe Esacisottaedrica



reticolo di grafite. Gli atomi di carbonio sono organizzati in strutture planari sovrapposte in cui ogni atomo è legato con legame covalente ai primi 3 vicini formando una struttura a nido d'ape. Gli strati atomici sovrapposti sono uniti da legami deboli ed originano la facile sfaldabilità della grafite.



Grafite, C, Gruppo Dimetrico, Sistema Esagonale, Classe Trapezoedrica esagonale



Amazzonite - $KAlSi_3O_8$

Varietà di microclino
Gruppo trimetrico
Sistema triclino
(foto A. Lenzi), Coll. A. e P.L. Lenzi



Ortoclasio - $KAlSi_3O_8$ con Quarzo SiO_2

Gruppo trimetrico

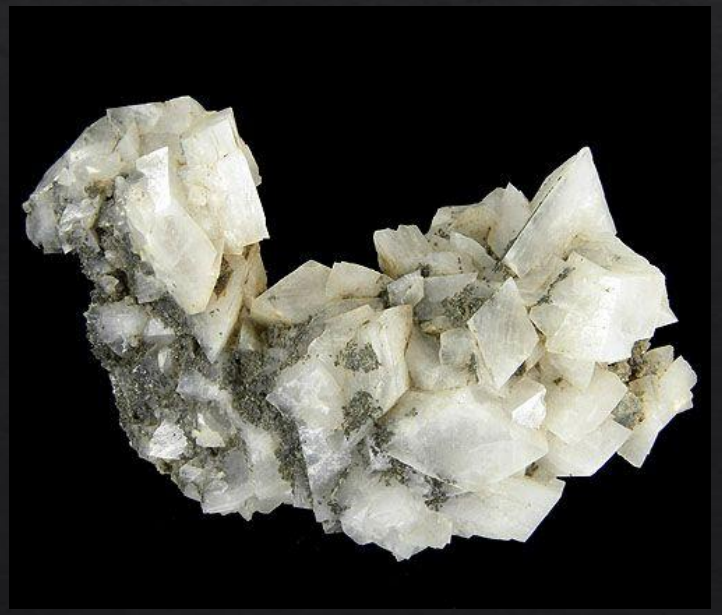
Sistema monoclino



Sanidino (Na)$KAlSi_3O_8$

Gruppo trimetrico

Sistema monoclino



Adularia - $KAlSi_3O_8$

Gruppo trimetrico

Sistema monoclino

Microclino - $KAlSi_3O_8$

Gruppo trimetrico
Sistema triclino
(foto A. Lenzi), Coll. A. e P.L. Lenzi



Esempi di polimorfismo



Anatasio o ottaedrite: TiO_2
St Christophe-en-Oisans, Bourg d'Oisans, Isère, Rhône-Alpes, France (1.7 × 1.7 cm)

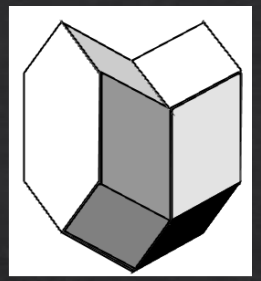


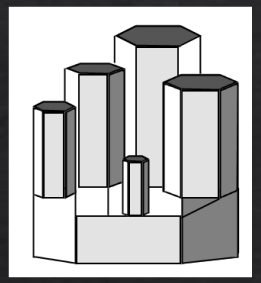
Brookite TiO_2 - Parrana foto e collezione Marco Bonifazi

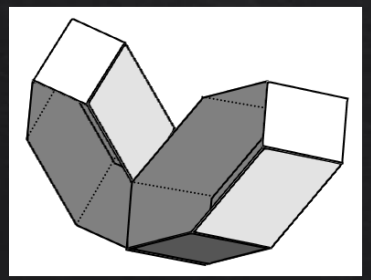


Rutilo TiO_2 (inclusioni nel quarzo)
Novo Horizonte - Bahia Brasile

AGGREGATI CRISTALLINI







Durante la fase di formazione dei cristalli, essi hanno la tendenza ad unirsi formando gli **aggregati cristallini**, che nel caso che i cristalli siano dello stesso tipo di minerale, si dicono omogenei, in caso contrario eterogenei. Tra gli ***aggregati eterogenei*** ci sono anche le rocce, che sono irregolari, mentre un caso particolare di aggregato eterogeneo regolare è dato dallo zircone su xenotime, anche se ne esistono di più comuni (anidrite su quarzo, zolfo su pirite, gesso su pirite…).

Gli ***aggregati omogenei*** regolari possono essere di molti tipi: geminati, uniassici o paralleli.

Gli aggregati paralleli sono caratterizzati da cristalli paralleli e vengono detti **DRUSE** (diffuse sono le druse di quarzo, aragonite, calcite...). In questo caso i cristalli non hanno in comune nessun particolare elemento (faccia, spigolo.) come invece avviene nel caso degli aggregati uniassici.

Un esempio è dato dai cristalli di baritina che sono uniti da uno spigolo conferendo all'aggregato l'aspetto di *un libro aperto*.

Quando due o più cristalli si uniscono in modo da avere in comune due elementi, o in generale formando un aggregato di simmetria superiore ai cristalli presi singolarmente, si ha un geminato. Nel ***geminato a lancia di gesso***, due cristalli, uno simmetrico rispetto all'altro, sono uniti tramite una faccia, che diventa così il piano di geminato (piano di riflessione).

A seconda del numero di cristalli si parla di bigeminato e poligeminato.

Del primo gruppo fanno parte i *geminati di contatto* (come il geminato a ferro di lancia del gesso, i geminati a becco di stagno della cassiterite) e i *geminati di compenetrazione* (le croci di ferro della pirite e della staurolite, il geminato di Karlsbad dell'ortoclasio).

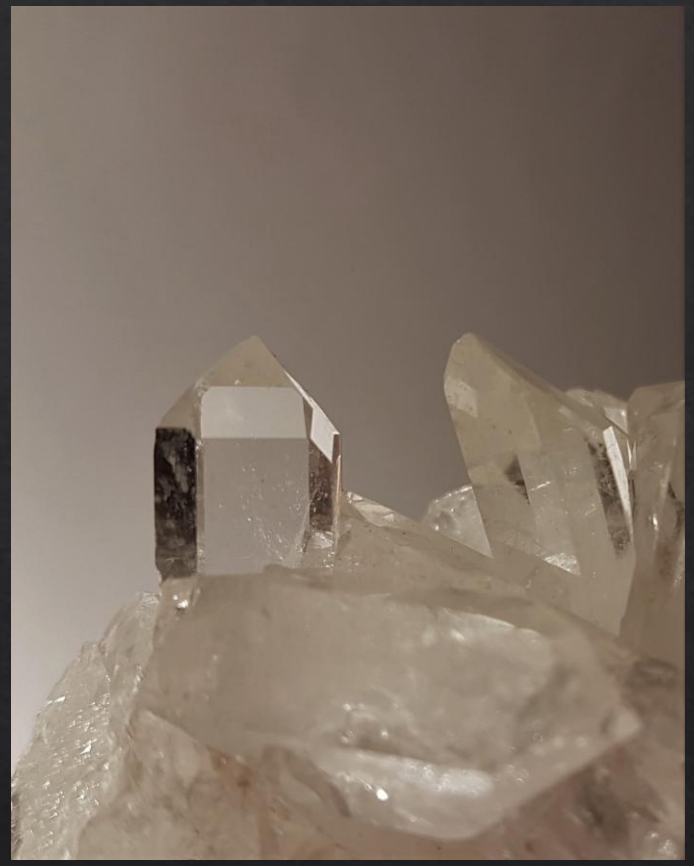
I poligeminati possono essere di vario tipo originando forme chiuse o aperte. La corona del rutilo è un esempio di forma chiusa in cui i vari cristalli geminano uno rispetto all'altro nello stesso modo e secondo le stesse facce. Il geminato a zigzag dell'aragonite invece è un caso di poligeminato aperto in cui l'aggregato può in teoria estendersi all'infinito senza che i nuovi cristalli siano limitati dagli altri già formati. Ci sono anche aggregati in cui si forma una simmetria apparente dovuta alla compenetrazione dei cristalli, come nel caso dell'aragonite nell'abito di prisma pseudoesagonale in cui l'apparente cristallo è in realtà costituito da tre cristalli "veri".

Gruppo dimetrico
Sistema Trigonale

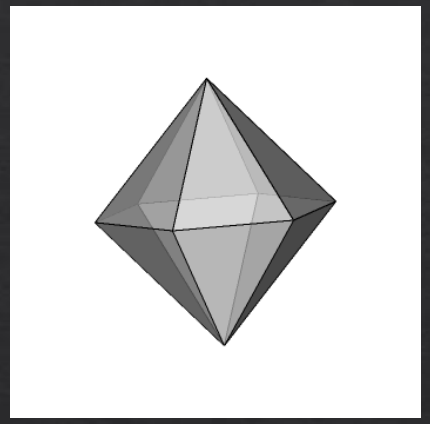


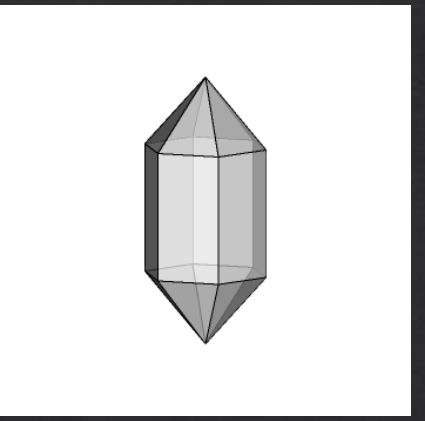


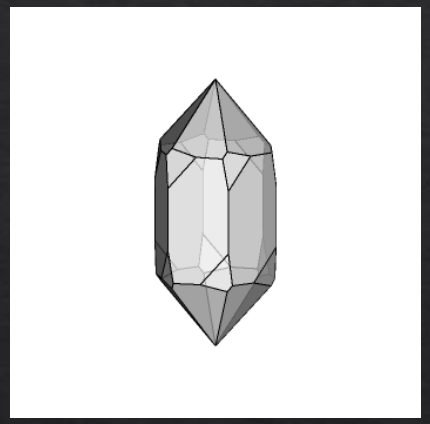
Quarzo, SiO_2, Huanzala Perù, coll. e foto A. Lenzi

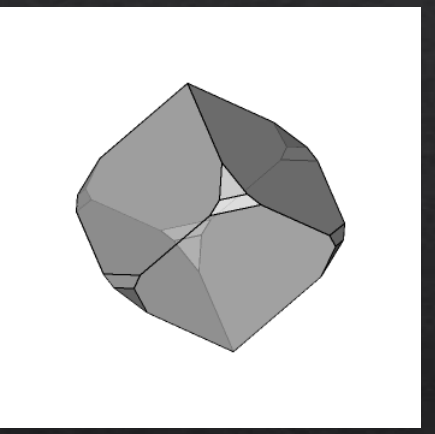


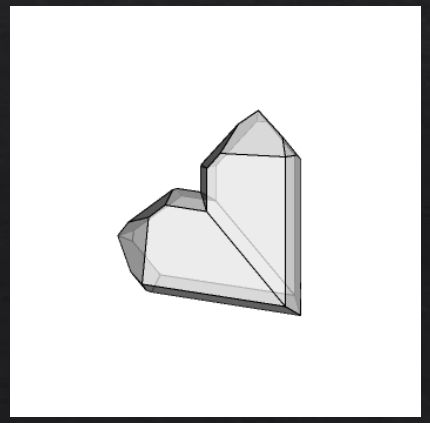
Quarzo, SiO_2, Adamantina Minas gerais Brasile, coll. e foto A. Lenzi

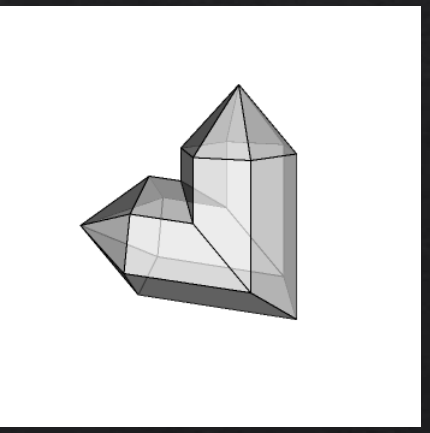












AGGREGATI CRISTALLINI

Possono essere “monominerali” o “omogenei” quando sono formati da granelli o cristalli di un solo minerale, e “poliminerali” o “eterogenei” se intervengono due o più specie. Il caso indicativo di aggregato eterogeneo è costituito dalla maggior parte delle rocce.

Molte volte, i cristalli che formano gli aggregati omogenei si dispongono in maniera arbitraria e, quindi, sono denominati aggregati “irregolari”, mentre in altre occasioni la disposizione segue un ordine e dà origine agli aggregati “regolari”.

Aggregati irregolari

In questo tipo di aggregati, i cristalli si raggruppano stretti tra loro, anche se in modo disordinato.
Possono essere definiti in diversi modi, a seconda delle forme che assumono.
Fra questi vi sono geodi (si formano all’interno di cavità) e druse (superfici convesse). La calcite e il quarzo solitamente cristallizzano così. Gli aggregati irregolari più semplici sono i granulari, poi ci sono le forme arrotondate e arborescenti: qui i piccoli cristalli prismatici si associano stretti tra loro, creando forme superficiali arrotondate. A volte, queste forme si allungano e danno origine a strutture più o meno sferiche, denominate aggregati stalattitici o stalagmitici. E’ anche possibile la formazione di altre forme più morbide, come esistono aggregati irregolari che acquisiscono le forme più curiose, che magari richiamano quelle esistenti nel mondo animale o vegetale.
Un esempio sono i cristalli che ricordano la corolla di una rosa e per tale ragione denominati “rose” o “rosette”.

AGGREGATI CRISTALLINI



Microfotografia di una sezione sottile di gabbro in luce a polarizzazione incrociata



Aggregati eterogenei regolari:
Epitassia di rutilo su ematite
Campione proveniente da
Novo Horizonte, Bahia, Brasile
Photo mindat.org

GRAZIE E A PRESTO!



Galena, dolomite, Calcopirite, PbS, $CaMg(CO_3)_2$, $CuFeS_2$, Westfork mine, Viburnum Missouri, coll. e foto A. Lenzi



Galena PbS
Huanzala Perù
coll. e foto A. Lenzi



Calcite $CaCO_3$ – Sardegna



Calcite $CaCO_3$ – Roselle (GR)



Calcite $CaCO_3$ – San Leone Cagliari Sardegna



Calcite $CaCO_3$ – Tennessee USA



Rodocrosite $MnCO_3$
Uchucchacua mine perù



Rodocrosite $MnCO_3$
Huanzala mine perù



Gesso $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Buriano (gesso dei tubi)



Gesso $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Nicioleta (GR)



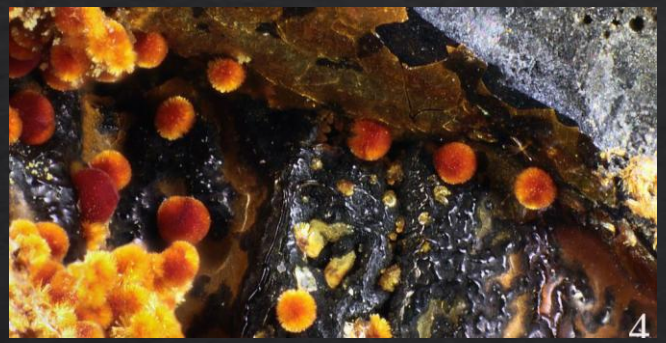
Gesso $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ - Polonia



Gesso $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ – rosa del deserto
Tunisia



Diaboleite, campo 3,6mm, M. d. Fucinaia, (foto Chinellato). Coll. Bonotti F.



Feroxyhyite, campo 1,4mm, Val Canina, (foto Chinellato). Coll. F. Bonotti



Paratacamite, dim. 0,66 mm, M. d. Fucinaia, (foto Chinellato). Coll. F. Bonotti



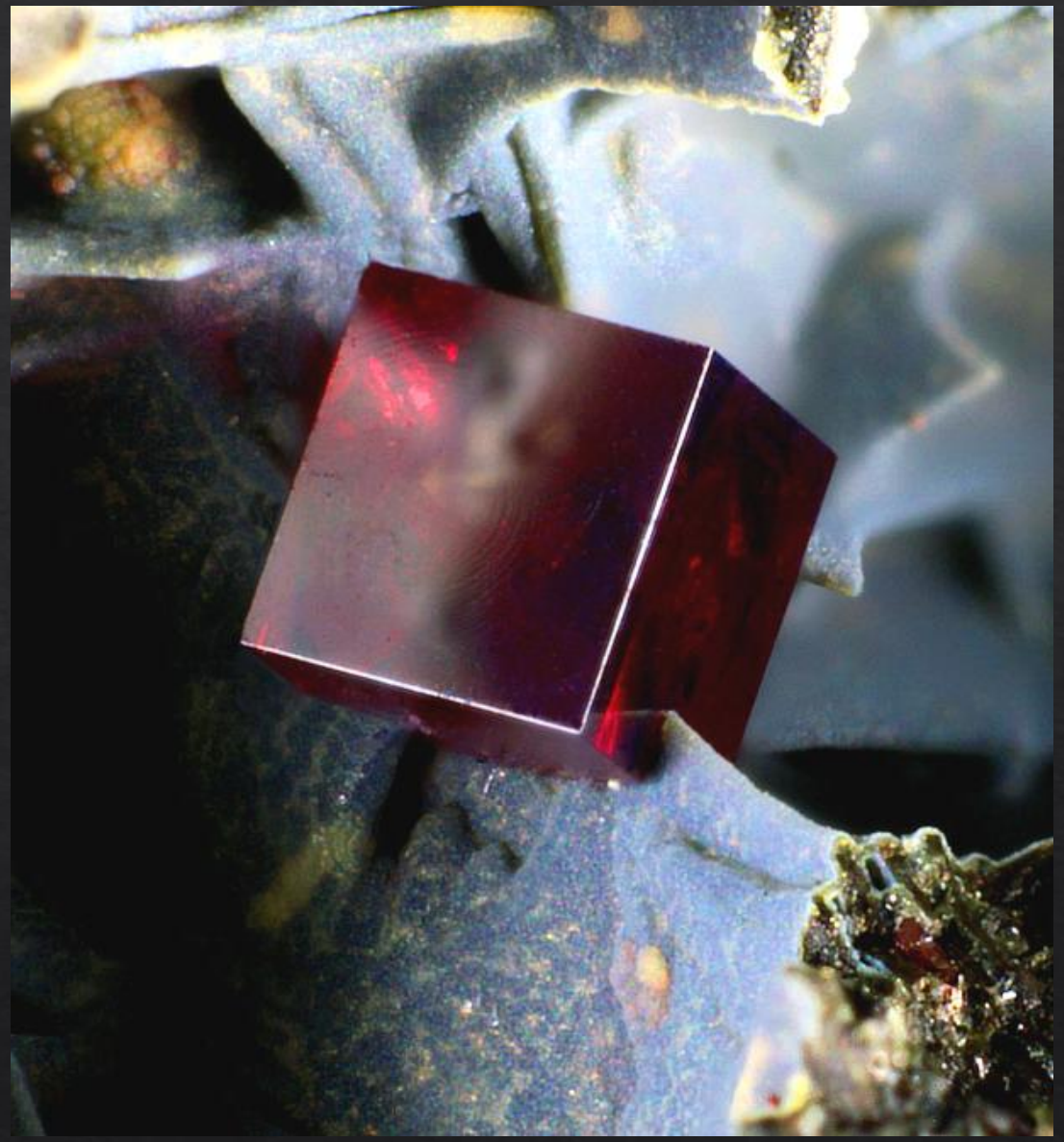
Delafossite e Cianotrichite, campo 2,47mm, M. d. Fucinaia, (foto Chinellato). Coll. F. Bonotti



Linarite $PbCu(SO_4)(OH)_2$, dim. 1,89mm, Val Canina, (foto Chinellato), coll. F. Bonotti



Brochantite $Cu_4(SO_4)(OH)_6$, dim. gruppo 1,9mm, M. d. Fucinaia, (foto Chinellato), coll. F. Bonotti



Cuprite cubica Cu_2O, dim. 0,59mm, M. d. Fucinaia, (foto Chinellato), Coll. F. Bonotti





Apofillite - $KCa_4Si_8O_{20}(F,OH)\cdot 8H_2O$
(foto A. Lenzi), Coll. A. e P.L. Lenzi



Barite, $BaSO_4$ – Brosso (TO)



Azzurrite $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$ su Fluorite CaF_2, Marocco



Brochantite, $Cu_4(SO_4)(OH)_6$, Laurion - Grecia coll. e foto A. Lenzi L=7 cm, H=4 cm, P=4 cm



Acquamarina $Be_3Al_2Si_6O_{18}$ - Pakistan



Gesso $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Buriano (gesso dei tubi)



Malachite botriodale $Cu_2(CO_3)(OH)_2$
Congo



Gesso $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Buriano (gesso dei tubi)



Emimorfite – $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot (H_2O)$
Sardegna



Smithsonite (calamina) - $ZnCO_3$
Sardegna



Metastibnite Sb_2S_3 - Amiata



Vesuvianite -
$Ca_{10}Mg_2Al_4(SiO_4)_5(Si_2O_7)_2(OH)_4$
Piemonte



Wavellite - $Al_3(PO_4)_2(OH)_3 \cdot 5H_2O$
Arkansas



Stilbite
$Na_3Ca_3[Al_8Si_{28}O_{72}] \cdot n(H_2O)$ (n=28-32)
Poona India



Atacamite $Cu_2Cl(OH)_3$ – Atacama Cile



Wavellite - $Al_3(PO_4)_2(OH)_3 \cdot 5H_2O$
Arkansas



Stilbite
$Na_3Ca_3[Al_8Si_{28}O_{72}] \cdot n(H_2O)$ (n=28-32)
Poona India





Arsenopirite FeAsS - Perù



Class : Phosphates, arsenates, vanadates
Subclass : Hydrated phosphates
Crystal system : Tetragonal
Chemistry : $Cu(UO_2)_2 (PO_4)_2 . 10H_2O$
Rarity : Quite common
Metatorbernite from Margabal, Aveyron, France



Autunite on Quartz on Granite, Nanjingqiao U deposit, Pingjiang Co., Yueyang, Hunan, China

GRAZIE
PER LA VOSTRA
ATTENZIONE