

Parte II – b

MINERALOGIA SPECIALE o DESCRITTIVA

Scopo della mineralogia speciale :

descrivere e classificare in modo razionale le specie mineralogiche, con cenni sulle modalità di genesi e sull'utilità pratica dei minerali come materie prime.

Come si riconoscono i minerali?

In casi particolari per certe proprietà (colore, forma, sfaldatura, durezza, ...), in genere risposta non facile: i minerali sono spesso camaleontici, presentandosi in più fogge. Per il grande naturalista Buffon: inutile la forma esterna perché estremamente variabile in uno stesso minerale.

Per una conferma o determinazione sicura:

necessarie analisi ottica e/o diffrattometrica con i raggi X.

Nel caso di minerali molto piccoli: il microscopio elettronico.

Classificazione dei minerali

Sono oltre 4500 e ogni anno ne vengono scoperti di nuovi.

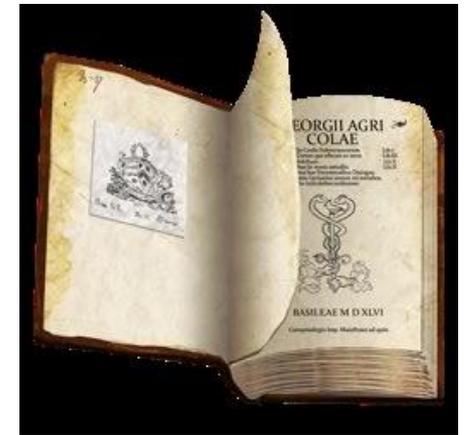
Numerosi i tentativi di descrivere e classificare i minerali nel corso dei secoli, a partire da Teofrasto, allievo di Aristotele, e Plinio il vecchio, per il mondo latino.

Diversi i criteri adottati : modalità di formazione, proprietà fisiche (solubilità, fusibilità, odore, sapore, ...) e terapeutiche.

Uno dei primi libri di mineralogia dell'epoca moderna → il *De natura fossilium* (1546-1558) di Giorgio Bauer (Agricola, in latino), “padre della mineralogia”.

I minerali sono divisi in cinque classi:

“terre” (argille, ocra,...); pietre propriamente dette (gemme, pietre semipreziose,...); “succhi” solidificati (sale, vetriolo, cioè solfati, allumi, ...); metalli e composti (galena, pirite, ...).



Tentativo di classificazione avanzato per il tempo, ma insoddisfacente, come anche quelli successivi, per ignoranza, allora insuperabile, di ~~composizione chimica e struttura cristallina~~, i soli parametri necessari e sufficienti per una classificazione razionale.

1. **Composizione chimica:** la determinazione della composizione chimica inizia nel 1800, quando si applicano ai minerali i metodi scientificamente fondati dell'analisi chimica.

Nella seconda metà del 1800 ecco le prime classificazioni.

Le più importanti: l'americana di Dana, quella tedesca di Groth-Mieleitner.

In queste i minerali sono riuniti in classi secondo l'anione dominante.

La ragione: i minerali con gli stessi anioni (ad es. i carbonati) hanno proprietà più simili tra di loro che i minerali con gli stessi cationi (ad es. il calcio). Inoltre si riteneva che maggiore fosse la probabilità di trovare minerali con gli stessi anioni nello stesso ambiente geologico (ad es. i solfuri in vene). Infine in chimica erano usati per i composti inorganici gli stessi criteri per nomenclatura e classificazione.

Però il criterio chimico → insufficiente - evidente nel caso dei minerali silicatici. Inoltre a una stessa composizione chimica → più minerali (es. a CaCO_3 calcite, aragonite, vaterite – fenomeno del polimorfismo).

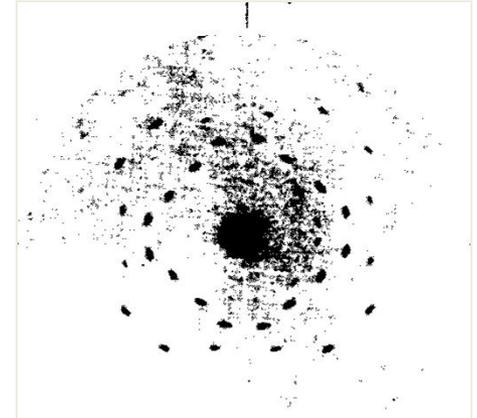
Necessità dunque della ~~conoscenza della struttura cristallina~~,
cioè della disposizione nello spazio degli atomi costituenti,
perché da questa dipendono le proprietà fisiche (meccaniche, ottiche, ...).

La struttura interna → la vera grande incognita !

2. Struttura cristallina

Solo nel 1912 la rivoluzionaria scoperta di Laue della diffrazione dei raggi X da parte dei materiali cristallini

→ aprì la strada alla determinazione della struttura di cristalli e minerali, e quindi alla classificazione su base chimico-strutturale.



Uno dei primi spettri di diffrazione dei raggi X da un cristallo di ZnS

3. Classificazioni attuali

Oggi sono in uso le classificazioni tedesca di H. Strunz e americana di Dana. Non mancano classificazioni innovative su base più strutturale, ma per un primo approccio quelle di Strunz e Dana rimangono valide.

Le due classificazioni non sono sostanzialmente differenti, raggruppano infatti i minerali in classi su base anionica. Si distinguono per il numero delle classi e la distribuzione dei minerali all'interno di ciascuna classe.

La suddivisione qui adottata è la seguente, costituita da 11 classi:

Elementi nativi

Solfuri S^{-2} e Solfosali

Alogenuri Cl^{-} , F^{-}

Ossidi O^{-2}

Idrossidi $(OH)^{-}$

Carbonati $(CO_3)^{2-}$, Nitrati $(NO_3)^{-}$

Borati $(BO_3)^{3-}$, $(BO_4)^{5-}$

Solfati $(SO_4)^{2-}$, Cromati $(CrO_4)^{2-}$

Fosfati $(PO_4)^{3-}$, Arseniati $(AsO_4)^{3-}$, Vanadati $(VO_4)^{3-}$

Molibdati $(MoO_4)^{2-}$, Bismutati $(BiO_4)^{3-}$

Silicati $(SiO_4)^{4-}$

NB1. I silicati per la loro importanza geologica sono illustrati in una sezione a seguire. La classe dei minerali organici non è trattata.

NB2. Si presuppone la conoscenza di fenomeni e concetti esposti nelle sezioni Cristallografia, Cristallofisica e Cristallochimica, cui si rimanda.

Premessa alla descrizione

La mineralogia descrittiva corre il rischio di essere un elenco pedante e alla fine noioso di minerali. Ma è un passaggio obbligato per avere un'idea di questo mondo, ricco di forme e di colori, fatto di esaltante bellezza esterna e di silenziosa non meno esaltante bellezza interna, e anche di rilevante importanza economica e industriale. Per una migliore comprensione si richiede una certa conoscenza di concetti chimici e fisici.

Nella presente esposizione si è cercato di dare uno sguardo d'insieme alle proprietà strutturali e fisiche di ciascuna classe di minerali, e quindi ai più importanti o significativi minerali. Ampio spazio è dato alla parte iconografica.

N.B. Nella descrizione di un minerale → esiste una profonda **correlazione**, di grande valore esplicativo, tra ~~composizione chimica, natura dei legami chimici, struttura cristallina e proprietà fisiche.~~

Per una più completa ed esauriente descrizione si vedano i numerosi testi e atlanti di mineralogia. Un elenco neppur completo è fornito alla fine delle *slide* sui minerali silicatici.

ELEMENTI NATIVI

Nella crosta terrestre ci sono circa 80 tra elementi o leghe nativi, distinguibili in

Metalli : gruppo dell'oro, del platino, del ferro – legame metallico

Non-metalli : carbonio (diamante, grafite), zolfo – legame covalente e residuo

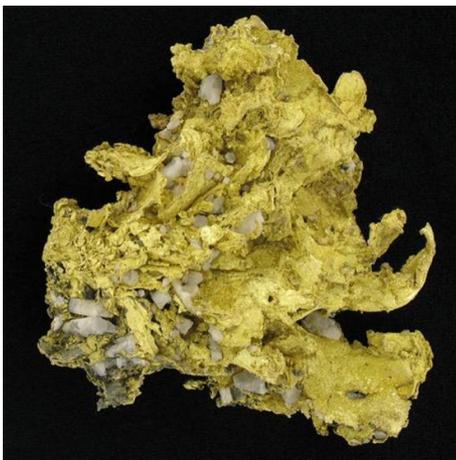
Metalloidi : arsenico, antimonio, bismuto – legame covalente

Metalli

Hanno strutture compatte, simmetria cubica, alta conducibilità termica ed elettrica, alta densità, bassa durezza, sono duttili e malleabili, privi di sfaldatura netta.

Raramente in cristalli, frequenti i granuli irregolari, le forme dendritiche, le masse scagliose. Colore proprio (oro, giallo; rame, rosso). Molto raro il ferro, frequente nelle meteoriti.

Genesi varia: magmatica (Pt), idrotermale (Au, Ag).



oro



argento



rame

Non-metalli

Diamante C

Classe m3m. Spesso in cristalli ottaedrici curvi

Durezza 10, sfaldatura perfetta {111}

Incolore, anche giallo, rosa, blu

Alto indice $n = 2.42$, forte dispersione

Minerale primario nelle kimberliti (rocce ultrabasiche molto profonde), detritico in giacimenti alluvionali

Usi. In gioielleria le varietà limpide. Nell'industria per le caratteristiche di durezza: materiale abrasivo ideale per gli strumenti di taglio, per abrasione e molatura.



I primi tentativi di diamanti sintetici risalgono alla prima metà del 1800, ma solo nel 1953, in Svezia, furono ottenuti. Si colorano se sottoposti a radiazioni nucleari.

Grafite C

Classe 6/mmm

Rari i cristalli in forma di lamelle esagonali, spesso in masse fogliacee o fibrose

Facile sfaldatura secondo (0001)

Colore nero. Durezza 1, untuosa al tatto

Forte anisotropia elettrica

Tipico minerale di scisti cristallini (indicatore di ambiente riducente) e accessorio di rocce eruttive.

Usi: crogioli refrattari, elettrodi, lubrificante, matite



Metalloidi

Solfo S

Esiste in due modificazioni, una orto-rombica stabile a condizioni ordinarie, l'altra monoclina a più alta T.

~~Fase ortorombica~~: classe mmm. In cristalli piramidali, spesso in masse compatte, terrose
Durezza 1.5-2.5. Frattura concoide. Molto fragile, facilmente si sbriciola in mano e per debole riscaldamento (→ pessima conducibilità termica)

Colore giallo, giallo-miele con sfumature diverse per impurezze. Lucentezza resinosa.

Genesi: eruzioni vulcaniche, ossidazione di solfuri, riduzione batterica di solfati (gesso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) in depositi sedimentari biochimici

Usi: produzione di H_2SO_4 , in agricoltura, industria chimica



SOLFURI e SOLFOSALI - circa 350 specie conosciute

SOLFURI

Composti dello zolfo (S) con metalli di transizione (Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Ag, Cd, Sb, Hg, Pb, Bi). A causa della bassa differenza di elettronegatività tra S e metalli, legame → a dominanza covalente con componenti metalliche e ioniche

Strutture cristalline e simmetrie diverse (da monocline a cubiche)

Semiconduttori, per lo più opachi, con riflessi metallici. Insolubili in acqua

Genesi per lo più idrotermale, anche sedimentaria. Facilmente ossidabili all'aria.

Di grande importanza economico-industriale, perché molti metalli di uso comune si estraggono dai rispettivi solfuri.

Dei numerosi solfuri sono presentati quelli più importanti per abbondanza o importanza economica o interessanti per qualche particolarità fisica.

Sono noti anche “**solfo-sali**”, costituiti dalla associazione di molecole di un solfuro metallico con molecole di un solfuro non-metallico: ad es. Ag_3AsS_3 .

Questi non sono trattati.

Galena PbS

Classe m3m

Struttura simile a quella di NaCl.

Cristalli cubici {100} e ottaedrici {111}, e loro combinazioni, comuni le masse compatte granulari

Sfaldatura {100} perfetta

Colore grigio-piombo (opaco su superfici vecchie)

Genesi idrotermale

Uso: principale minerale del Pb

Importante anche per Ag (fino a 1%)



Sfalerite ZnS

Classe -43m.

Cristalli: spesso combinazione di {111} e {-1-1-1}; in masse compatte, reniformi.

Colore da giallo chiaro al miele al marrone (per il Fe).

Lucentezza adamantina, resinosa.

Sfaldatura {110} perfetta.

Genesi idrotermale, anche metasomatica.

Principale minerale di zinco. Sottoprodotti: cadmio, indio.



Pirite FeS₂

Classe m3.

Frequenti le forme {100}, {210} spesso striate, meno comuni {111} e {321}

Geminati {110} – croce di ferro. Anche massiva, reniforme, granulare, in concrezioni.

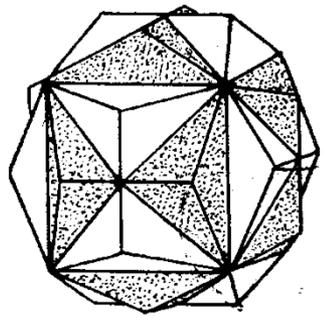
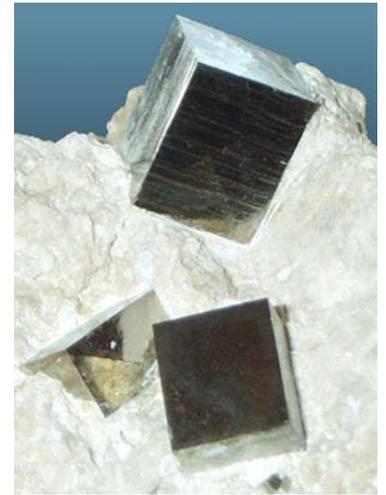
Durezza 6-6.5

Frattura concoide. Colore giallo metallico.

Il solfuro più frequente.

Genesi magmatica, idrotermale, metasomatica, sedimentaria.

Usi: produzione di acido solforico; estrazione di oro e rame.



Geminato a croce di ferro

Marcasite FeS_2

Classe mmm

Cristalli tabulari, più spesso in forme raggiate, globulari, reniformi

Durezza 6-6.5

Genesi: idrotermale, sedimentaria

Molto meno comune della pirite



Molibdenite MoS_2

Classe 6/mmm

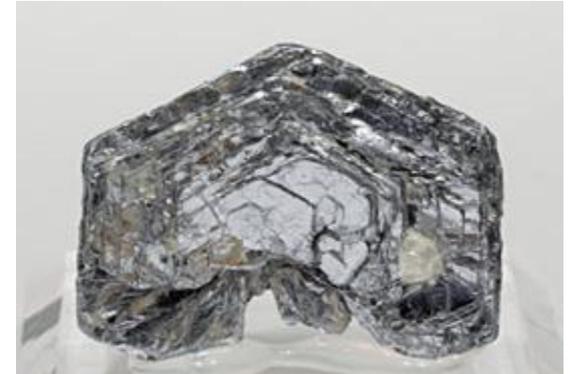
Cristalli esagonali appiattiti secondo (0001), anche in lamine flessibili non elastiche

Facile sfaldatura basale (0001)

Color grigio piombo

Giacimenti pegmatitici, idrotermali, metasomatici

Uso: principale minerale di molibdeno, elemento usato in leghe metalliche di elevata durezza. Il solfuro usato come lubrificante, in applicazioni elettroniche, ecc.



Cinabro HgS

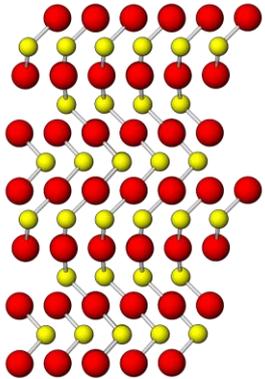
Classe 32

Rari i cristalli romboedrici, in masse granulari o compatte

Sfaldatura perfetta secondo $\{10\cdot10\}$

Colore rosso vermiglio, lucentezza adamantina

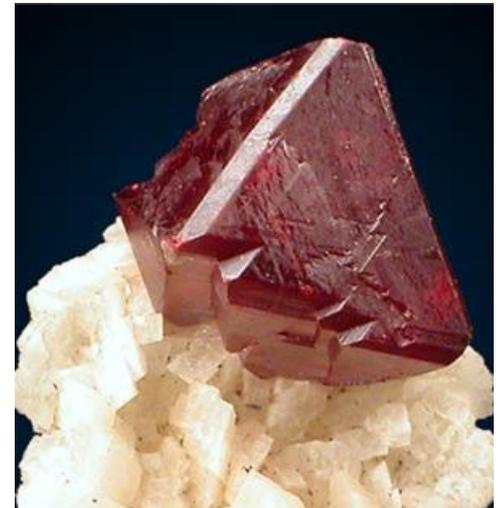
Principale minerale di mercurio



Nella struttura ogni atomo di Hg è legato a due atomi di S (e ogni S a due Hg) a formare catene a zig-zag allungate secondo l'asse z e affiancate lungo l'asse y: di qui la perfetta sfaldatura $\{10\cdot10\}$.

Legame covalente (circa 80%).

Presenta potere rotatorio.





Realgar AsS 2/m



Orpimento As_2S_3 2/m

Genesi idrotermale, spesso associati in giacimenti di minerali di Ag, Pb, Au.
Anche come prodotti di sublimazione.



Il realgar esposto alla luce si trasforma in polvere
gialla, il *pararealgar*

ALOGENURI

→ composti degli **alogeni** (F, Cl, Br, I) con **metalli alcalini** (Li, Na, K) e **alcalino-terrosi** (Ca). Legame ionico. In genere alta simmetria. Bassa densità e durezza. Trasparenti, incolori. Solubili in acqua (tranne i fluoruri). Alogenuri minerali: 140

Salgemma (Halite) NaCl

Classe m3m

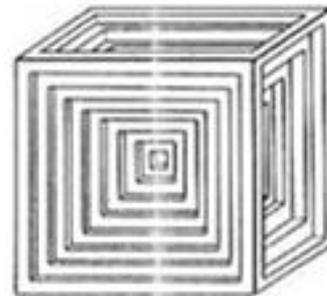
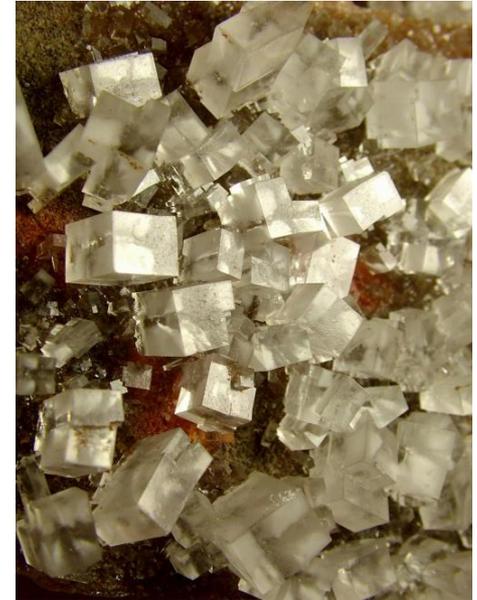
Cristalli cubici {100} dominante; a tramoggia, per rapido accrescimento; in masse granulari

Sfaldatura {100}. Incolore, anche giallo, blu, ... Translucido

Minerale comune, genesi evaporitica

Componente dell'acqua di mare

Usi: industria alimentare, chimica, ecc.



tramoggia

Fluorite CaF_2

Classe $m\bar{3}m$

Cristalli cubici $\{100\}$ e ottaedrici $\{111\}$ dominanti; anche in masse granulari

Sfaldatura $\{111\}$ perfetta. Fragile.

Lucentezza vitrea. Incolore, gialla, blu, verde, viola, raramente rosa (\rightarrow centri di colore)

Genesi pneumatolitica e idrotermale.

Usi: come fondente; per produzione di HF



OSSIDI

Composti degli ioni O^{2-} con metalli alcalino-terrosi (Mg), di alluminio (Al) e di elementi di transizione (Fe, Mn, Ti, Sn). In totale circa 320 specie mineralogiche.

Legame ionico. In genere alta simmetria. Alta durezza, alta densità. Refrattari. In rocce eruttive e metamorfiche. Grande importanza economica.

Ematite - oligisto Fe_2O_3

Classe -3m.

Cristalli per lo più tozzi, anche tabulari secondo (0001), in masse reniformi, terrose, compatte. Sfaldatura imperfetta. Colore grigio acciaio o nero, rossa in polvere e in scaglie molto sottili. Lucentezza metallica.

Genesi idrotermale, metamorfica, sedimentaria. Accessorio in rocce eruttive e scisti. Si altera in limonite.

Importante minerale di ferro.

Usi. Estrazione del ferro. Nota dalla preistoria come pigmento rosso sangue. Ocra rossa. Varietà nera come gemma (poco pregiata).



Corindone Al_2O_3

Classe -3m (isomorfo dell'ematite)

Cristalli prismatici, a barilotto, tabulari, rozzi, massivi.

Durezza 9 (cfr 6.5 dell'ematite)

Non sfaldatura, ma "parting" secondo {0001}.

Incolore, colori diversi: **rubino** → tracce di Cr; **zaffiro** → tracce di Fe e Ti.

Lucentezza vitreo-adamantina.

In rocce metamorfiche, alluvionali, anche magmatiche.

Usi: gemma, abrasivo (sintetico).



Rubino sintetico

TiO₂ esiste in tre modificazioni: **rutilo, anatasio, brookite**
delle quali la più diffusa è il

Rutilo

Classe 4/mmm

Cristalli prismatici secondo {110} o aciculari, con striature
parallele a z. Geminati (a ginocchio) secondo {011}

Colore giallo/rosso-bruno, nero

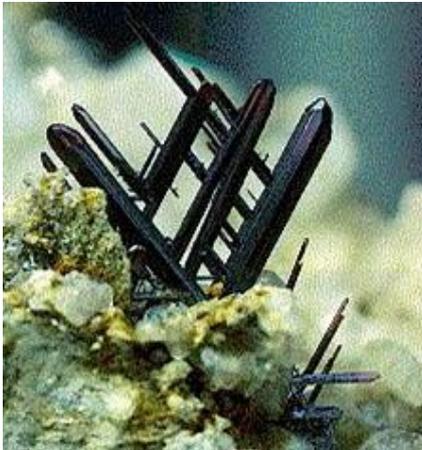
Durezza 6-6.5 - Lucentezza adamantina

In rocce metamorfiche, eruttive, in vene di quarzo, in sabbie nere.

Usi: per acciai ferro-titanio; come pigmento (sintetico), elettrodi,
leghe, ...



geminato



“capelvenere”



Spinelli AB₂O₄ ossidi doppi con possibilità di vicarianze - tutti cubici

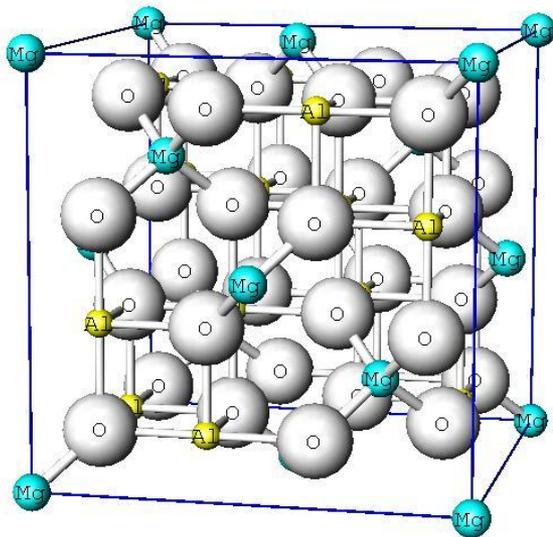
A²⁺ = Mg, Fe, Zn, Mn (cationi più grossi: raggio ionico tra 0.66 e 0.80 Å);

B³⁺ = Al, Fe, Cr, Mn (cationi più piccoli: raggio ionico tra 0.51 e 0.64 Å)

Dal punto di vista strutturale si hanno spinelli normali e spinelli inversi.

Spinelli normali:

O²⁻ → assetamento cubico compatto; i cationi **A²⁺** nei siti tetraedrici della struttura; i cationi **B³⁺** in quelli ottaedrici (in questo caso per la coordinazione non vale il criterio del rapporto tra raggio ionico del catione e raggio ionico dell'ossigeno – vedi *Cristallochimica*)



Cella elementare di uno spinello normale:
Sferette turchesi: Mg (coordinazione 4)
Sferette gialle: Al (coordinazione 6)

Dei 7 spinelli normali ricordiamo lo spinello propriamente detto e la cromite

Spinello propriamente detto $MgAl_2O_4$

Classe $m\bar{3}m$

In ottaedri, anche massivo, anche geminati

Incolore (se puro); spesso colorato: verde, rosso, blu (per vicarianze : Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cr^{2+} , Zn^{2+})

Durezza 8. Lucentezza vitrea.

In rocce metasomatiche, alluvionali.

Uso: come gemma.



geminati



gemme



Cromite FeCr_2O_4

Fe sostituito da Mg; Cr da Al

Rari i cristalli ottaedrici, per lo più in masse compatte

Colore nero-bruno, lucentezza sub-metallica

In rocce eruttive di peridotiti e rocce ultrabasiche

Altamente refrattario

Unico minerale di cromo.

Usi: in lega con il ferro per acciai resistenti a corrosione e ossidazione. In lega con Fe e Ni per alte temperature.



Dei 4 **spinelli inversi** ricordiamo la magnetite

Magnetite $Fe_3O_4 = FeFe_2O_4$

Classe $m\bar{3}m$

Cristalli ottaedrici $\{111\}$, rombo-dodecaedrici $\{110\}$ striati, anche in masse compatte. Spesso geminati.

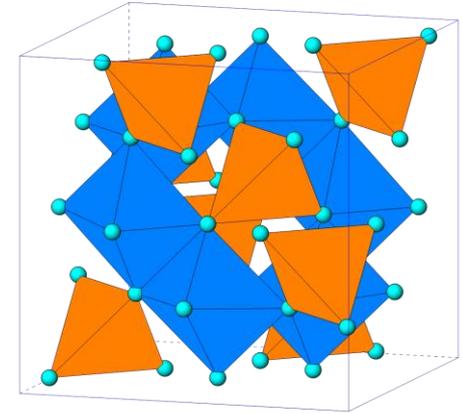
Durezza 5.5-5.6. Frattura.

Colore nero, lucentezza sub-metallica.

Ferromagnetica. Punto di Curie $580^{\circ}C$ (oltre perde le proprietà magnetiche).

Frequente in rocce magmatiche, metamorfiche, raro in rocce sedimentarie non detritiche.

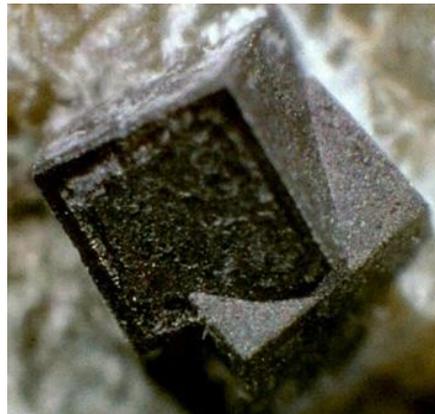
Uso: siderurgia



Struttura di **spinello inverso**

Cella elementare.

Il catione bivalente Fe^{2+} e uno dei due cationi trivalenti Fe^{3+} occupano i siti ottaedrici; l'altro catione trivalente Fe^{3+} va nel sito tetraedrico.



geminato



Tra gli ossidi multipli: **Crisoberillo** BeAl_2O_4

Non è uno spinello! Ha struttura diversa.

Classe mmm.

Struttura simile all'olivina: assetamento esagonale compatto di O^{2-} ; **Be** (ione piccolo) in coordinazione 4; **Al** in coordinazione 6.

In cristalli tabulari pseudo-esagonali

Colore verde, bruno, giallo. Fortemente pleocroico.

Minerale raro. Si trova in graniti, pegmatiti

Uso: come gemma (alessandrite, cimofane)



trigeminato



alessandrite



cimofane, varietà opalescente (detta anche occhio di gatto) con gatteggiamento dovuto a microscopiche cavità o inclusioni di aghetti di rutilo tutti iso-orientati.

IDROSSIDI

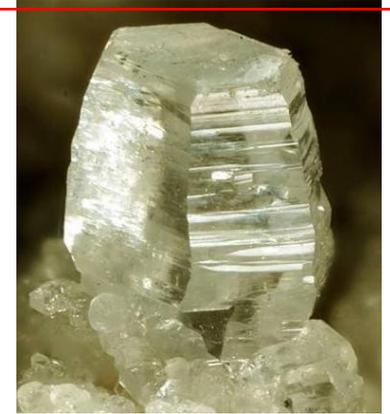
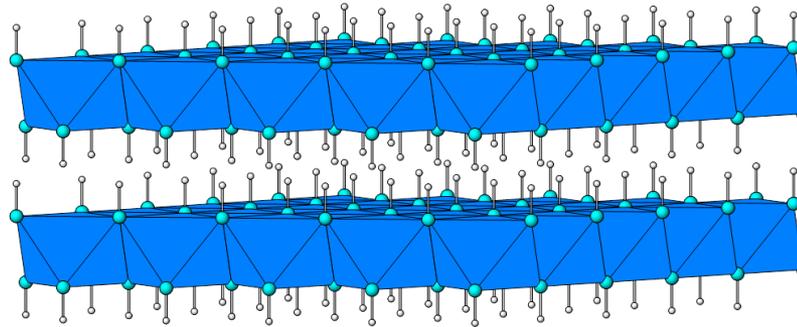
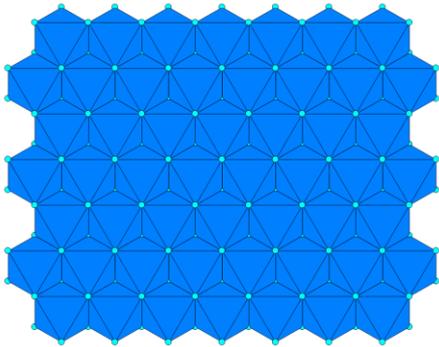
Composti degli ioni OH^- con i cationi di Mg, Fe, Mn, Al, Cr. Circa 30.

Assestamento esagonale compatto degli ioni OH^- . Coordinazione ottaedrica dei cationi $\text{Mg}(\text{OH})_6$.

Struttura lamellare con legame idrogeno tra gli strati. Facile sfaldatura basale. Durezza bassa.

Brucite $\text{Mg}(\text{OH})_2$

Struttura: strati tri-ottaedrici di $\text{Mg}(\text{OH})_6$ tenuti insieme da legami idrogeno. Dunque sfaldatura $\{0001\}$ perfetta, durezza bassa 2.5.



Classe $-3m$. Cristalli tabulari, massiva.

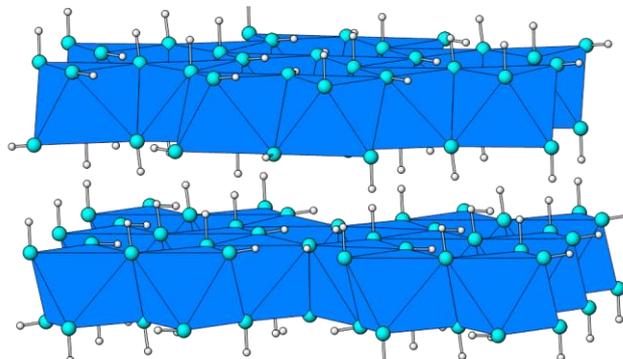
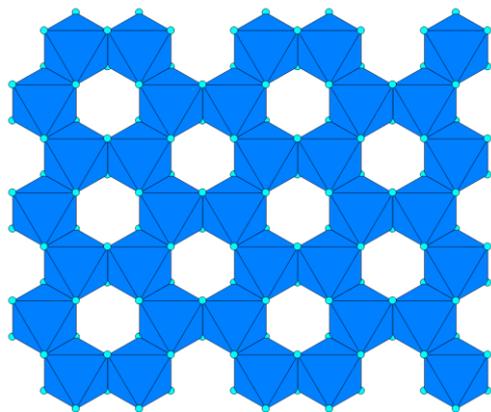
Lucentezza perlacea. Colore bianco, verdolino

In rocce metamorfiche

Uso: materia prima per preparare mattoni refrattari (MgO)

Gibbsite $\text{Al}(\text{OH})_3$

Struttura simile a quella della brucite, ma gli strati sono **diottaedrici** (cioè, solo due siti ottaedrici su tre sono occupati) e la simmetria inferiore (monoclinica, classe $2/m$).



Cristalli tabulari, masse fogliari criptocristalline.
Sfaldatura $\{001\}$ perfetta. Durezza 2.5-3-5

Miscele di gibbsite, diasporo [$\alpha\text{-AlO}(\text{OH})$], bohemite [$\beta\text{-AlO}(\text{OH})$] con ossidi e idrossidi di ferro e altre impurezze \rightarrow costituiscono la **bauxite**, roccia formata per alterazione in superficie di rocce alluminifere.

Uso: importante per l'estrazione di Al.



Depositi di bauxite
(Guinea)



Goethite FeOOH

Classe mmm. Raramente in cristalli, più spesso in masse globulari, botroidali, reniformi.

Associata ad altri ossidi e idrossidi di ferro criptocristallini entra nella costituzione della



Limonite di composizione circa $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Materiale comune nelle zone ossidate di depositi di minerali di ferro, con ossidazione e idratazione del ferro contenuto nei minerali.

In masse globulari, reniformi, oolitiche, ecc., di colore dal giallo ocra al bruno scuro.

Importante minerale di ferro.



continua → *carbonati*