

Sistematica Mineralogica

Prof. Francesco Princivalle

Testi e schemi tratti da Carobbi, Wenk-Bulakh, Internet

CLASSIFICAZIONE MINERALI (STRUNZ, 1941)

La classificazione è stata fatta sia su base chimica che strutturale.

- CLASSE:
- 1 [ELEMENTI NATIVI](#)
 - 2 [SOLFURI](#)
 - 3 [ALOGENURI](#)
 - 4 [OSSIDI](#)
 - 5 [CARBONATI](#)
 - 6 BORATI
 - 7 [SOLFATI](#)
 - 8 [FOSFATI](#)
 - 9 SILICATI
 - 10 COMPOSTI ORGANICI

SPECIE: fase che possiede composizione chimica e struttura ben individuata.

VARIETA': entro una specie vi possono essere delle "piccole" differenze compositive, tali però da non comportare l'istituzione di una nuova specie.

SERIE: insieme di specie legate da relazioni di isomorfismo.

GRUPPO: insieme di specie non legate da stretti rapporti di isomorfismo.

ELEMENTI NATIVI

Escludendo le sostanze gassose, in natura si trovano una ventina di elementi che danno luogo a minerali e possono essere suddivisi in: metalli, semimetalli, non metalli.

Elementi Metallici:

Sono minerali retti essenzialmente da legame metallico, e pertanto con le caratteristiche di conducibilità, lucentezza e malleabilità tipiche. Si suddividono in tre gruppi: gruppo dell'ORO, del PLATINO e del FERRO.

GRUPPO DELL'ORO:

ORO: Au cristallizza nel sistema cubico, si presenta raramente in cristalli, più spesso in forme filamentose, granuli e dendriti di colore giallo “oro”, anche per la polvere. Ha alto PS (19.3). Genesi: idrotermale associato a vene di quarzo e con altri solfuri quali pirite. Spesso contiene Ag, con cui forma soluzione solida. Si ritrova anche in depositi alluvionali (placers). Tra i paesi maggiori produttori d'oro, il Sudafrica, l'Australia, gli Stati Uniti e il Canada. In Italia vi sono miniere, dismesse, in Lombardia e Piemonte.

GRUPPO DELL'ORO:

ARGENTO: Ag, cubico. Raro in cristalli, si rinviene in masse filamentose e dendritiche. Si distingue per il colore, il PS (10.5), la malleabilità. Colore della polvere bianco, e se non ossidato, elevato potere riflettente. Genesi: soluzioni idrotermali.

GRUPPO DEL PLATINO:

PLATINO: Pt, cubico. Rarissimo in cristalli, si presenta generalmente in granuli e filamenti. Ha colore bianco argenteo, ma non si ossida, e si distingue per l'elevatissimo PS (21.5). Genesi: è associato a rocce basiche ed ultrabasiche e in depositi alluvionali. Paesi produttori: Russia negli Urali, in SudAfrica i depositi stratiformi del Bushweld, in Canada nello stato dell'Ontario.

GRUPPO DEL FERRO:

FERRO: Fe, cubico. Quasi introvabile come ferro terrestre, è costituente fondamentale di alcune meteoriti (sideroliti) in associazione con il nichel (kamacite e taenite). E' ferromagnetico e ha un colore grigio acciaio, anche in polvere.

Elementi Non Metallici: in natura si conoscono solo due elementi nativi a carattere non metallico, il carbonio e lo zolfo, entrambi con i loro polimorfi.

ZOLFO: possiede due modificazioni stabili, cui se ne devono aggiungere un certo numero a carattere metastabile. La fase stabile a temperatura ambiente è lo ZOLFO α , rombico bipiramidale, forma meravigliosi cristalli bipiramidali di colore giallo. Spesso forma incrostazioni o aggregati non euedrali. La genesi può essere sia di tipo sedimentario (Formazione Gessoso Solfifera del Miocene Italiano, è una formazione che va dagli Appennini emiliani alla Sicilia. In questa formazione si trovano le miniere di zolfo più importanti per l'Italia). Lo zolfo di origine vulcanica è legato alle solfatare (Pozzuoli) dove è spesso pseudomorfo su zolfo β , e infine lo zolfo si può trovare per alterazione superficiale dei depositi di solfuri.

Gruppo del CARBONIO: sono comprese le due modificazioni polimorfe di diamante e grafite.

DIAMANTE: cubico esacisottaedrico, si presenta in cristalli generalmente ottaedrici. La sua genesi è legata ai camini kimberlitici, che sono delle formazioni vulcaniche di elevata pressione. Il nome deriva dal greco *adamas* ossia indomabile. Unità di misura del peso è il carato = 0.200 g (grano 0.050 carati) e per valorizzarne la lucentezza viene tagliato e il taglio più famoso è quello a brillante. Data la sua resistenza e inalterabilità, si rinviene anche in depositi alluviali.

GRAFITE: molto rara in cristalli euedrali, forma laminette a simmetria esagonale. E' la fase di bassa pressione e il suo nome deriva dal greco *graphein* = scrivere. Brucia facilmente e la velocità di combustione dipende essenzialmente dalle dimensioni dei singoli cristalli. Nel passato molti carboni ritenuti amorfi in realtà erano costituiti da grafite. E' un minerale di origine metamorfica, e si forma entro sedimenti ricchi di sostanza organica sottoposti ad intense azioni termiche. In Italia si trova entro varie mineralizzazioni piemontesi legate a scisti cristallini.

SOLFURI

E' un'importante classe di minerali, visto che quasi tutti sono minerali utili. La maggioranza ha un colore e un colore della polvere caratteristici; sono quasi tutti opachi e quelli non opachi hanno, generalmente, un alto indice di rifrazione e sono trasparenti solo in sezione sottile. I legami sono ionici e covalenti, ma molti hanno anche legami metallici e sono quelli che hanno le proprietà fisiche simili a quelle dei metalli (opacità, lucentezza metallica, conducibilità, ecc.).

I solfuri presentano un impaccamento compatto di atomi di zolfo entro cui si distribuiscono i metalli. Possono essere suddivisi in piccoli gruppi sulla base delle strutture, ma una classificazione di tipo cristallografico non si adatta molto bene. La suddivisione, quindi, è in base al rapporto metallo/zolfo (Me/S). All'interno di questa teniamo conto del tipo di coordinazione in cui va il metallo: coordinazione regolare tetraedrica (sfalerite), ottaedrica (galena), poliedri distorti come nei solfuri più complessi.

La genesi principale è di tipo idrotermale; si hanno anche solfuri formati per sublimazione da fumarole, per alterazione di giacimenti metalliferi (cappellacci) e per azione biochimica.

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE: i solfuri presentano legami in parte metallici ed in parte covalenti (ciò è dovuto all'elettronegatività dello zolfo (2.5), inferiore a quella degli altri anioni quali: ossigeno (3.5); fluoro (4.0); cloro (3.0). Se il legame covalente è quello di tipo predominante (es. nella blenda e nel cinabro), il solfuro si presenta trasparente. In genere però i solfuri sono caratterizzati da un riflesso metallico. Opacità e riflesso metallico sono caratteristiche tipiche di metalli conduttori con all'interno campo elettrico nullo il che implica l'impossibilità di trasmettere la luce. Ricordiamo inoltre che la conducibilità elettrica è, in prima approssimazione, relazionata alla presenza di elettroni liberi. Essendo opachi i solfuri non possono essere studiati a luce polarizzata ma solo a luce riflessa, di conseguenza è particolarmente importante per questo tipo di minerali il riconoscimento macroscopico.

Presentano in genere frattura concoide.

I solfuri possono essere divisi in solfuri s.s. ed in solfosali:

Solfuri s.s $A_m X_p$

$A:X >1$

$A:X =1$

$A:X <1$

A= metalli (Cu, Pb, Hg, Fe, Ag, Ni, Co)

X = S (Se, Te)

Solfosali $A_m Y_n X_p$

Y= semimetalli (Sb, As, Bi)

SOLFURI A : X > 1

Calcosina Cu_2S .

Rombica bipiramidale sotto i 103°C , diesagonale bipiramidale al di sopra dei 103°C . In natura si rinviene con struttura rombica, anche se l'habitus è spiccatamente esagonale di colore grigio scuro con riflessi bluastri, lucentezza metallica su fratture fresche. I cristalli sono molto rari, mentre risulta comune in masse compatte e granulari. È uno dei più abbondanti e diffusi minerali di rame con tenori di Cu attorno all'80% (se pura). Depositi consistenti si rinvengono negli Urali, in Cile, Bolivia e USA. In Italia è associata a rocce ofiolitiche in Toscana.

SOLFURI A : $X > 1$

Argentite Ag_2S .

Anche questo solfuro presenta vari polimorfi. A bassa temperatura sotto i 179°C è stabile la modificazione monoclina prismatica, mentre a temperature superiori e fino a 586°C è stabile una struttura a simmetria cubica. Nelle masse compatte si può rinvenire con quest'ultima simmetria a testimonianza di una deposizione a alte temperature. Questo solfuro è uno dei più ricchi minerali per l'argento, contenendo se puro circa 87% di Ag. Le masse granulari hanno colore grigio scuro e rari sono i cristalli. Miniere vi sono in Cechia (Jachimov) in Germania (Freiberg), in Messico e Cile. In Italia si rinviene assieme a calcite in Sardegna (Serrabus).

SOLFURI A : X = 1

Coordinazione tetraedrica

Blenda ZnS

Cubica, esacistetraedrica, isostrutturale con il diamante.

Cristallizza in tetraedri, tuttavia cristalli ben formati non sono comuni. Il colore varia dal giallo al rosso fino al nero. Tali differenze di colore sono imputabili a piccole percentuali di Fe che tende a sostituire lo Zn nella struttura. Maggiore è il contenuto in Fe, e più il minerale tende al colore nero (var. ***marmatite - più del 5 wt% in Fe***). E' l'unico solfuro a non presentare in genere lucentezza metallica (se non per le marmatiti molto ricche in Fe), ma resinosa. Sfalda perfettamente tanto che la Blenda prende anche il nome di Sfalerite.

La blenda è il principale minerale per l'estrazione dello Zn (tenori anche superiori a 67% in Zn).

SOLFURI A : X = 1

Coordinazione tetraedrica

Calcopirite CuFeS_2

Tetragonale scalenoedrica. Presenta abitus bisfenoidico.

Il colore è giallo ottone (può essere confusa con la pirite); spesso presenta delle caratteristiche iridescenze, inoltre può facilmente essere associata a minerali di alterazione del Cu i quali presentano spesso colori blu o verdi (es. carbonati di Cu quali malachite, azzurrite etc). Non presenta sfaldatura ma fratture concoidi. La calcopirite è tra i principali minerali utilizzati per l'estrazione del rame.

SOLFURI A : X = 1

Coordinazione ottaedrica

Galena PbS

Sistema cubico, massima simmetria (classe esacisottaedrica).

Cristallizza in cubi e, a T° più elevate, in ottaedri. Sono frequenti forme miste cubo-ottaedriche. Spesso sono presenti geminati di compenetrazione. Il colore è grigio con spiccata lucentezza metallica dove non siano presenti alterazioni. La sfaldatura è perfetta lungo le facce del cubo.

Contiene fino al 86% in Pb. Oltre che per lo sfruttamento del Pb viene spesso usata per lo sfruttamento di Ag (tenori di 1-2%).

SOLFURI A : X = 1

Coordinazione ottaedrica

Cinabro HgS

Classe trigonale trapezoedrica. I cristalli sono rari e in genere geminati per compenetrazione. Più spesso è presente come patine dal colore rosso acceso. Il tenore in Hg è elevato (86%). Può essere associato a Hg nativo.

SOLFURI A : $X < 1$

Pirite FeS₂

Sistema cubico, classe diacisdodecaedrica.

Cristallizza prevalentemente in cubi, ottaedri, pentagonododecaedri e forme miste. Tipici sono i geminati di compenetrazione a croce di ferro. Caratteristiche della pirite sono le **striature triglife** caratterizzate dalla crescita alternata delle facce del cubo e del pentagonododecaedro. La disposizione di tali striature evidenzia l'assenza di assi di ordine 4.

Non serve per l'estrazione del Fe, ma per la produzione di H₂SO₄ (anidride solforosa). Manca totalmente di sfaldatura - Molto alterabile in ambiente ossidante.

La pirite è presente, oltre che in giacimenti di tipo idrotermale, anche in skarn, rocce sedimentarie (ambiente riducente), metamorfiche ed infine in rocce magmatiche (acide e basiche) dove figura come minerale accessorio.

SOLFURI A : $X < 1$

Molibdenite MoS_2

Diesagonale bipyramidale.

I cristalli non sono quasi mai perfetti. Si trova in lamelle vagamente esagonali. Il nome deriva dal greco e significa "che scrive". La sfaldatura è ottima dato che presenta una struttura a strati legati tra loro dalle sole forze di Van der Waals.

Può essere confusa con la grafite, ma lo striscio è grigio verde e non nero, inoltre ha densità superiore ed è tipica di rocce pegmatitiche.

Serve per l'estrazione del Mo oppure come lubrificante a secco.

Solfoanidridi

Antimonite Sb_2S_3

Rombica piramidale, cristallizza in prismi molto allungati (cristalli aciculari). Presenta una sfaldatura perfetta in zona 001 (coincidente con l'allungamento dei cristalli).

Si tratta del principale minerale per l'estrazione di Sb presentando tenori in Sb di circa il 72% (il Sb viene spesso utilizzato come indurente per il Pb).

Solfoanidridi

Orpimento As_2S_3

Monoclino. Presenta un colore giallo e una lucentezza resinosa.

E' un minerale di tipica genesi idrotermale di bassa T° , inoltre può essere presente come patine in prossimità di fumarole vulcaniche.

Realgar As_4S_4

Monoclino. Presenta un colore rosso e lucentezza resinosa. Si altera facilmente in Orpimento.

ALOGENURI

A questa classe appartengono circa 100 minerali correlati chimicamente, ma con tipi di struttura e genesi diversi. Gli alogenuri sono costituiti dalla combinazione di grandi anioni (alogeni) con grandi cationi metallici. Cationi e anioni hanno il comportamento di corpi quasi perfettamente sferici, con legami quasi completamente ionici. Gli alogenuri hanno un impaccamento compatto, con la possibilità di avere strutture caratterizzate da altissima simmetria, bassa durezza e densità, bassa conducibilità termica ed elettrica, sono fragili e facilmente sfaldabili.

La struttura degli alogenuri si può ricondurre a tre tipi principali al diminuire del rapporto raggio del catione/raggio dell'anione:

tipo CsCl, con coordinazione cubica per anione e catione;

tipo NaCl, con coordinazione ottaedrica per anione e catione;

Tipo CaF₂, con coordinazione tetraedrica per l'anione e cubica per il catione.

Genesis.

Il salgemma, come gli altri cloruri, si deposita per evaporazione di bacini marini chiusi (genesì evaporitica), perché il cloro, che ha raggio ionico dissimile da O e OH- può difficilmente entrare nel reticolo di minerali in fase magmatica e viene convogliato nelle acque marine. Gli alogenuri si possono, inoltre, trovare come prodotti di sublimazione delle fumarole e come alterazione di giacimenti metalliferi.

La fluorite è un minerale di ganga, generalmente di vene idrotermali, associata con molti altri minerali tipo carbonati, solfuri, solfati, quarzo, ecc. Il fluoro, infatti, con raggio ionico simile a quello dell'ossigeno e dell'ossidrile, può entrare nel reticolo di minerali in fase magmatica e venire arricchito, per la sua volatilità, negli ultimi stadi della cristallizzazione.

SALGEMMA: NaCl, cubico esacisottaedrico.

Raramente si presenta in bei cristalli ad habitus cubico, generalmente si rinviene in masse compatte microcristalline, spesso frammiste a sedimenti argillosi e talora anche bituminosi, con colorazioni variabili in funzione di ossidi e idrossidi di ferro. Questo è dovuto alla sua genesi, per evaporazione di acque marine e/o di laghi salati. E' l'alogenuro più diffuso sulla terra dove costituisce enormi depositi (duomi salini dello spessore anche di qualche migliaio di metri). Tra i più grandi depositi europei ricordiamo quelli di Hallstadt in Austria, di Wieliczka in Polonia. In Italia si hanno giacimenti in Sicilia (Miniera di Petralia). Il sale per usi alimentari si ottiene generalmente nelle saline artificiali, che sono diffuse dall'Adriatico al Tirreno.

FLUORITE: CaF₂, cubica esacisottaedrica.

E' un minerale che da luogo a cristalli con habitus cubico, spesso di dimensioni notevoli. Sovente compaiono anche le facce dell'ottaedro e questo è favorito dalla facilità con cui si ottiene la sfaldatura ottaedrica. Raramente la fluorite è limpida e incolore. Generalmente si presenta con colori violetti, blu, giallo, verde, rosa e talvolta nero. Inoltre può presentare fenomeni di fluorescenza. La genesi va da pegmatitica a idrotermale di bassa termalità. Le località più classiche per la fluorite sono le miniere inglesi del Cumberland e della Cornovaglia. In Italia, a Corvara in Val Passiria e in Sardegna.

SILVITE: KCl, cubica esacisottaedrica.

Isotipo con NaCl, ma non isomorfo. Molto raro poiché il K è molto meno abbondante del Na. Tende a formarsi nelle ultime fasi del processo evaporitico, quando il K è già stato impegnato nella formazione di altri minerali. E' molto simile al Salgemma.

CRIOLITE: Na₃AlF₆, monoclina.

Si presenta in masse compatte biancastre. Rari sono i cristalli che hanno un aspetto pseudocubico. La genesi è pegmatitica. E' usata come fondente nella metallurgia dell'Al (elettrolisi di Al₂O₃ fuso).

OSSIDI

L'ossigeno è l'elemento più abbondante nella litosfera (circa il 49%) La sua percentuale però sale considerevolmente se invece di considerare il peso si considera il volume occupato (circa il 92%). Nell'idrosfera raggiunge circa l'86% e nella atmosfera il 23%. E' evidente che la maggior parte dei minerali esistenti sulla superficie della Terra contiene quantità rilevanti di questo elemento. Ciò nonostante i veri ossidi non costituiscono più del 5% del peso totale della litosfera (ovviamente escludendo i silicati). Come ossidi si intendono solidi con legami essenzialmente ionici, tra un catione metallico e ioni ossigeno (non mancano però percentuali varie di legame covalente e metallico, in particolare quanto minori sono le differenze di elettronegatività tra metallo e ossigeno).

La struttura degli ossidi può venire schematizzata seguendo il modello ionico di Pauling, ossia in termini di poliedri catione-ossigeno. I poliedri più rappresentativi sono quelli tetraedrici e ottaedrici. Si può anche partire da impaccamenti compatti di ossigeni (cubici o esagonali) e considerare gli spazi (interstizi) lasciati vuoti (tetraedrici e ottaedrici). Talora si possono considerare impaccamenti anziché di ossigeni, di ioni (OH).

La classificazione si fa in base al rapporto stechiometrico metallo : ossigeno. In questo modo avremo ossidi con:

rapporto Me:O > 1

rapporto Me:O = 3:4

rapporto Me:O = 2:3

rapporto Me:O = 1:2

e IDROSSIDI.

La genesi di questi minerali è molto varia, si va dalla magmatica di più alta termalità fino all'idrotermale (Fe_2O_3 ; $\text{Mg}(\text{OH})_2$), alla genesi sedimentaria (alterazione MnO_2 , Cu_2O , $\text{FeO}(\text{OH})$) a quella metamorfica (Al_2O_3 , MgO).

Ossidi con Me:O > 1

GHIACCIO: H₂O, esistono vari polimorfi in funzione della temperatura, la modificazione più conosciuta è quella stabile fino a -80°C ha simmetria esagonale ed è quella presente nei fiocchi di neve (spesso con sviluppo dendritico).

CUPRITE (Cu₂O) cubica esacisottaedrica.

Si presenta in masse compatte di colore rosso cupo che si formano per alterazione superficiale di giacimenti a solfuri di rame.

Ossidi con Me:O =3:4

Tale rapporto stechiometrico è tipico negli spinelli (impacchettamento cubico compatto leggermente distorto (isomorfismo di prima specie). Va ricordato che tali minerali sono tra gli ossidi più importanti dal punto di vista petrogenetico, nonché quelli maggiormente presenti.

Tutti gli spinelli sono cubici (massima simmetria). Cristallizzano in ottaedri (rari i cubo-ottaedri e i rombododecaedri).

La formula è semplice da ricordare, essendo data dalla somma di un bivalente con un trivalente.

I termini puri vengono elencati per a_0 (in Å) crescente (in natura i termini puri sono praticamente inesistenti e di fatto esistono sempre importanti sostituzioni). Ricordiamo solo i più comuni:

1) Spinello (nobile) MgAl_2O_4 $a_0 = 8.102\text{\AA}$ $u = 0.2628$

Raro. Si presenta in cristalli ottaedrici con elevata durezza (8) e densità attorno a 3.5. In genere si trova in rocce calcaree termometamorfosate per contatto su calcari e dolomie cristalline; molto importanti sono anche i depositi secondari entro alluvioni fluviali. Se perfettamente puro è limpido ed incolore, ma solitamente contiene varie impurità quali Cr e Fe per cui si presenta colorato. Se è presente Cr il colore tende rosso e quando si mostra trasparente e con una forte ed intensa colorazione rossa viene utilizzato come gemma (es rubino della corona d'Inghilterra, rubino balascio, famosi sono quelli di Ceylon, Sumatra e Madagascar). La presenza di Fe fa virare il colore allo scuro e la varietà si chiama pleonasto. In Italia si rinviene in bei cristalli ottaedrici lucenti sui proietti del Monte Somma (Vesuvio), nelle rocce metamorfiche di contatti della Val di Fassa (assieme a Cpx fassaite e a vesuviana, oltre a calcite azzurra) e in Val Malenco.

2) Cromite



Si tratta del principale minerale per l'estrazione del cromo, rarissimo in cristalli ben formati, si presenta in masse microgranulari nere incluse in rocce ultrabasiche (peridotiti, pirosseniti) associato ad olivina e pirosseni. La genesi è riconducibile a segregazione magmatica da magmi ultrabasici. Ha durezza pari a 5.5 e densità attorno a 4.6. La cromite è un minerale di forte interesse industriale, e grandi giacimenti si trovano in Turchia e Albania, legati a rocce ofiolitiche, in Russia negli Urali, in Rhodesia, Sud Africa (Bushveld), Canada e Stati Uniti (Stillwater). In Italia è presente con concentrazioni non importanti dal punto di vista industriale in varie rocce serpentinosi della Val Malenco, a Balmuccia come filoncelli nella peridotite, nelle ofioliti liguri. Se particolarmente ricco di Mg assume il nome di magnesio-cromite, e anche picotite nelle fasi a Mg-Al-Fe-Cr.

3) Magnetite FeFe_2O_4 $a_0 = 8.391\text{\AA}$ $u = 0.2548$

Presenta un'alta suscettività magnetica e può essere magnetizzata permanentemente. In natura esistono magnetiti polari in grado di generare campi magnetici intensi tanto da perturbare l'ago delle bussole. Famoso è Capo Calamita all'Isola d'Elba. La lucentezza è metallica. I cristalli ben formati sono comuni (ottaedri, cubo-ottaedri, rombododecaedri, icositetraedri) e possono raggiungere anche discrete dimensioni dell'ordine di qualche centimetro, anche se solitamente si presenta in masse granulari compatte; la durezza è elevata 5.5 e anche la densità attorno a 5.2.

La magnetite presenta tenori in Fe superiori al 70% e rappresenta il principale minerale per l'estrazione del Fe. Si trova praticamente in tutti gli ambienti genetici. I principali sono in ogni caso quelli pneumatolitico-idrotermale (Isola d'Elba), di segregazione ortomagmatica (Cogne Valle d'Aosta) e anche l'enorme giacimento svedese di Kiruna al di sopra del Circolo Polare Artico. Frequente è anche come accessorio in molte rocce magmatiche, in rocce metamorfiche. Da ricordare i meravigliosi cristalli euedrali legati a metamorfismo su rocce peridotitiche con formazione di serpentino e magnetite (Ivrea, Traversella).

3) Maghemite $\text{Fe}_{2.67}\text{O}_4$ $a_0 = 8.30\text{\AA}$

In questo spinello sono presenti lacune reticolare per cui il rapporto Me:O da $\frac{3}{4}$ passa a $\frac{2}{3}$ caratteristico dei sesquiossidi si parla anche di fase $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$. Frequenti le soluzioni solide maghemite-magnetite realizzate tramite il seguente meccanismo $3\text{Fe}^{2+} \rightarrow 2\text{Fe}^{3+} + 1$ lacuna strutturale, e per queste fasi è stato proposto il nome di kenomagnetiti. E' una fase importante come supporto magnetico.

Altri spinelli in ordine di importanza:

HERCINITE	FeAl_2O_4 (frequente metamorfismo di contatto)
MAGNESIOCROMITE	MgCr_2O_4
TREVORITE	NiFe_2O_4
Mg-FERRITE	MgFe_2O_4
GALAXITE	MnAl_2O_4
JAKOBSITE	MnFe_2O_4
FRANKLINITE	ZnFe_2O_4
GHANITE	ZnAl_2O_4

Ossidi con Me:O = 2:3

CORINDONE Al_2O_3

Ditrigonale scalenoedrico, impacchettamento esagonale distorto - fonde a T° altissime. Durezza 9.

Si presenta in cristalli sia tabulari, ma più frequenti sono quelli prismatici in cui il prisma esagonale può essere l'unica forma semplice presente, un'altra forma tipica è quella a barilotto. Le dimensioni possono anche essere enormi (XX dal Transvaal di circa 170 kg). Ha durezza elevata (9) e fonde a temperature altissime (2045°C). Se puro (rarissimo) è incolore e prende il nome gemmologico di leucozaffiro. Il colore più frequente è il grigio (smeriglio).

Tipico minerale pegmatitico o di metamorfismo di contatto in calcari ricchi in Al. Viene utilizzato comunemente come sostanza abrasiva (smeriglio). Le forme trasparenti rivestono una importanza notevole in gemmologia. I colori dipendono da elementi cromofori.

Varietà di corindone in gemmologia:

- a) trasparente = leucozaffiro
- b) rosso = rubino
- c) blu = zaffiro
- d) viola = ametista orientale = zaffiro viola
- e) verde = smeraldo orientale = zaffiro verde
- f) azzurro = acquamarina orientale
- g) giallo = Padparadscha (color fior di loto, il più prezioso in assoluto).

in particolari casi è presente il fenomeno dell'asterismo legato a inclusioni di rutilo o alla presenza di sottili lamelle di geminazione.

Importanti sono i giacimenti alluvionali in cui si possono trovare xx gemma e data l'inalterabilità di questo minerale. Famosi sono quelli Birmani, Tailandia, Cambogia, Ceylon. La varietà microgranulare smeriglio si rinviene in Turchia (Smirne), Grecia, USA, Russia. In Italia si trova in rocce pegmatitiche (Elba, Piona).

EMATITE Fe_2O_3

Isostrutturale con il Corindone. Molto comune anche se difficilmente in cristalli di grandi dimensioni. Deve il suo nome al fatto che in polvere presenta un forte color rosso (dal suffisso emos-sangue in greco). Durezza 5-6 e densità 5.3.

La genesi è varia: magmatica (pneumatolitico-idrotermale), metamorfica (regionale e di contatto) e sedimentaria (più o meno mascherata da successivo metamorfismo).

- ◆ In ambiente magmatico i cristalli di ematite testimoniano una maggiore attività di O_2 (fugacità di ossigeno = O_2) rispetto alla magnetite (in cui il ferro è presente anche con stato di ossidazione +2).
- ◆ in ambiente sedimentario è un minerale comune nei processi di wethering (alterazione), e può indicare pertanto un momento di emersione. Alla presenza di ematite è legato il colore rossastro tipico dei suoli (vedi terre rosse del Carso).

◆ I maggiori giacimenti al mondo di ferro sono legati all'ematite.

Con l'eccezione dei depositi elbani (correlabili a fenomeni di metamorfismo di contatto) tali giacimenti hanno una genesi particolare, presentano età molto antiche (2Ga) e vengono indicati come **BIF (banded - iron - formation)**. Si tratta di depositi sedimentari che riflettono l'aumento dell'ossigeno libero nell'atmosfera ad opera dell'azione delle piante.

I cristalli hanno forme variabili: piccole lamine, romboedri, fibre, mammellonari etc. Tipici gli aggregati a "rosa di ferro" presenti soprattutto nelle litoclasti alpine in cui viene simulata una simmetria esagonale. Varietà oligisto è quella che si presenta in grossi cristalli in cui predomina il romboedro, micacea in piccole lamine lucenti, spesso in aggregato a rosa di ferro, fibrosa in fasci fibrosi allungati, spesso in aggregati mammellonari o reniformi. Quando è microcristallina pulverulenta prende il nome di ocre rossa e deriva da fenomeni di alterazione superficiale di giacimenti ferriferi.

ILMENITE FeTiO_3

Trigonale romboedrica. Durezza 5-6, $d=4.7$. Isostrutturale con corindone ed ematite nonostante presenti una simmetria minore a causa della collocazione di Fe e Ti in posizioni fisse all'interno del reticolo cristallino.

Morfologicamente appare simile all'ematite. Geneticamente è un minerale accessorio in rocce magmatiche e metamorfiche. Importante per l'estrazione del Ti (viene coltivata non in depositi primari ma in placers, depositi secondari di genesi sedimentaria).

PEROWSKITE CaTiO_3

Tetragonale, cristallizza in pseudo-cubi.

Presente in rocce serpentinosi o in magmatiti ultracaline potassiche.

Ultimamente risulta interessante sia da un punto di vista petrogenetico che economico data la presenza di alte percentuali di elementi rari quali Nb o REE all'interno della struttura.

OSSIDI CON Me:O = 1:2

RUTILO TiO_2

Tetragonale bipyramidale. Durezza 6-6.5, $d=4.3$. Cristallizza in aghetti (sagenite). Il colore è variabile da giallo (capelli di Venere) a rosso (rutilo) a nero (nigrina) in relazione alla presenza di ferro. Spesso presenta geminati caratteristici in cui i cristalli sono uniti con angoli di circa 120° (geminati a ginocchio). La struttura è data da un impacchettamento distorto con metà delle posizioni ottaedriche occupate. È un importante minerale accessorio in rocce di tutti i tipi. Viene coltivato in placers per l'estrazione del Ti.

Esistono due polimorfi: ANATASIO (tetragonale, tipico anche in ambiente sedimentario) e BROOKITE (rombico).

OSSIDI CON Me:O = 1:2

CASSITERITE SnO_2

Isotipo con il Rutilo. Frequenti i geminati (a becco di stagno). Durezza 6.5, $d=7$. La genesi è pneumatolitica, pegmatitica o, raramente, idrotermale di alta temperatura. Si tratta del principale minerale per la produzione dello Sn.

URANINITE UO_2

Cubico, massima simmetria, isotipo con la fluorite. Durezza 5.5, $d=11$.

Non presenta composizione stechiometrica a causa dell'ossidazione di U^{4+} in U^{6+} e conseguente ingresso nel reticolo di ossigeno in eccesso. Il processo è favorito dalla forte radioattività di U che fornisce l'energia di attivazione necessaria all'ossidazione. La genesi è pegmatitica, pneumatolitica o idrotermale. In quest'ultimo caso il minerale non presenta cristallizzazioni evidenti e prende il nome di **pechblenda**, per l'aspetto piceo del minerale.

E' un minerale di grande importanza economica sia per la produzione di energia elettrica (centrali atomiche) sia per scopi militari.

Importanti sono i giacimenti idrotermali di Jachmov in Cechia. Altri giacimenti sono in USA e hanno genesi sedimentaria (percolazione di acque uranifere con precipitazione di UO_2). In Italia vi sono solo piccole mineralizzazioni a minerali uraniferi di genesi sedimentaria nelle zone delle Alpi occidentali.

IDROSSIDI

Dati dalla presenza di anioni OH⁻ al posto degli O. I cationi presenti sono a medio potenziale ionico e tendono ad idrolizzarsi fortemente in soluzione acquosa. I cationi precipitano sotto forma di idrogel colloidali.

BAUXITE: idrossidi di Al
LIMONITE: idrossidi di Fe
WAD: idrossidi di Mn

LATERITI e TERRE ROSSE: miscele di Al+Fe+SiO₂ (rocce basiche e calcari)

BRUCITE Mg(OH)₂

Ditrigonale scalenoedrico. Minerale tipico in dolomie metamorfosate per contatto oppure in rocce femiche-ultrafemiche sottoposte a metamorfismo regionale.

Dal punto di vista strutturale può essere considerata un "pezzo" della struttura di molti fillosilicati di cui rappresenta in pratica lo strato ottaedrico (o brucitico)

GIBBSITE (idroargillite) $\text{Al}(\text{OH})_3$ e BOEHMITE $\text{AlO}(\text{OH})$

Mai visibili in cristalli ben formati, risultano importanti essendo i costituenti essenziali delle bauxiti. In pratica la genesi indica uno spinto processo di watering (alterazione) La loro presenza può anche dare una stima della maturità di un suolo.

GOETHITE $\text{FeO}(\text{OH})$ e LEPIDOCROCITE $\text{Fe}(\text{OH})$ (limonite)

Si tratta di minerali di alterazione. Sono tra i principali costituenti delle Lateriti. Possono essere sfruttate industrialmente presentando tenori in Fe del 50-62%. Hanno una notevole importanza ambientale. Gran parte dei problemi ecologici sono in qualche modo connessi alla presenza delle lateriti.

CARBONATI

Sono prevalenti nelle rocce sedimentarie nelle quali possono costituire anche il cemento. I travertini sono generalmente di origine chimica, i calcari a lumachelle sono organogeni, le calcareniti di origine clastica e i marmi metamorfica. Il complesso anionico $(\text{CO}_3)^{2-}$ in coordinazione triangolare planare costituisce l'ossatura dei carbonati ed è, in massima parte, responsabile delle proprietà di questa classe di minerali, che hanno durezza inferiore a 5, aspetto litoide e alta birifrangenza, dovuta agli strati di triangoli CO_3 planari.

Il carbonio, nel complesso anionico $(\text{CO}_3)^{2-}$, ha un legame molto forte con l'ossigeno, ma non forte come in CO_2 ed è per questo che, in presenza di un acido si rompe: $2\text{HCl} + \text{CaCO}_3 \text{ ----- } \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 \text{ (effervescenza) } + \text{H}_2\text{O}$ Il rapporto tra i raggi ionici Ca:O è circa 0.71 e il valore limite tra coordinazione ottaedrica e cubica è 0.73. Il calcio può quindi assumere tutte e due le coordinazioni e per questo esistono due serie di carbonati quella della calcite e quella dell'aragonite, anche se in quest'ultima la coordinazione del calcio non è 8, ma 9.

Tra i carbonati esistono soluzioni solide, ma dato che in certi casi la differenza tra i raggi ionici degli elementi è troppo grande si hanno composti intermedi (ad es. la dolomite è intermedia tra calcite e magnesite). I carbonati anidri della serie della calcite, dell'aragonite e della dolomite, unitamente a quelli contenenti l'ossidrile (azzurrite e malachite) sono gli unici carbonati importanti.

Solitamente i carbonati presentano cationi bivalenti associati al gruppo anionico CO_3 . Si tratta per lo più di metalli alcalini e alcalini terrosi con RI maggiore di 1 Å nei carbonati rombici e minore di 1 Å nei carbonati trigonali. Vi sono carbonati di quasi tutti i cationi. Rari sono quelli di Al e Fe^{3+}

La suddivisione è su base chimica tra:

- a. Carbonati Anidri
- b. Carbonati Anidri con altri Anioni
- c. Carbonati Idrati
- d. Carbonati Idrati con altri Anioni

CARBONATI ANIDRI

SERIE DELLA CALCITE

Ditrigonali scalenoedrici

CALCITE CaCO_3

SIDERITE FeCO_3

MESITINA(Fe, Mg) CO_3

RODOCROSITE MnCO_3

SMITHSONITE ZnCO_3

MAGNESITE MgCO_3

CALCITE (CaCO_3 , ditrigonale scalenoedrica).

I cristalli presentano forme diverse (scalenoedri, romboedri, prismi, ecc.), ma può trovarsi anche in masse concrezionate, granulari e in masse spatiche limpide e trasparenti (varietà spato d'Islanda). Può a causa di impurità assumere svariati colori. E' costituente fondamentale di molte rocce. La sua struttura si può pensare come derivata da quella del salgemma con il calcio al posto del sodio e il gruppo CO_3 del cloro: poiché nel caso della calcite il gruppo CO_3 è triangolare e non sferico abbiamo una distorsione del cubo che passa a romboedro con tutti i triangoli orientati nello stesso senso e su un piano strutturale. Caratteristiche distintive sono la durezza (3), la sfaldatura romboedrica e l'effervescenza in HCl a freddo.

CARBONATI ANIDRI

SERIE DELL'ARAGONITE

Rombici Bipiramidali

ARAGONITE	CaCO_3
STRONZIANITE	SrCO_3
WITERITE	BaCO_3
CERUSSITE	PbCO_3

ARAGONITE (CaCO_3 , rombica bipiramidale).

E' la modificazione polimorfa di alta pressione del carbonato di calcio. Si trova anche a pressione ambiente (solitamente stabilizzata dalla presenza di stronzio), pur essendo meno stabile e comune della calcite. Si rinviene in aggregati coralloidi e in cristalli allungati prismatici e aciculari. Frequenti i geminati di tre individui a simulare un prisma esagonale. Se pura è trasparente e bianca come la polvere. Spesso è colorata per impurità. La struttura è con i triangoli CO_3 su due strati a livello diverso e ruotati di 30° a destra e a sinistra.

Caratteristiche distintive sono un peso specifico maggiore della calcite (3.7) e l'effervescenza in HCl.

CARBONATI ANIDRI

SERIE DELLA DOLOMITE

Trigonal romboedrici

DOLOMITE $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

ANKERITE $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$

KUTNAHORITE $\text{CaMn}(\text{CO}_3)_2$

DOLOMITE ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, trigonale).

E' un sale doppio, in quanto Ca e Mg possono sostituirsi solo in piccola quantità, ma, data la differenza tra i raggi ionici, occupano posizioni proprie. I cristalli hanno forma romboedrica, talvolta con facce curve o raggruppate in aggregati selliformi. Lucentezza vitrea, colore usualmente bianco come la polvere. La sua struttura differisce da quella della calcite, ma con Ca e Mg che occupano piani diversi e che portano a una diminuzione di simmetria, in quanto rimane solo l'asse di ordine 3. Caratteristiche distintive sono la sfaldatura romboedrica e l'effervescenza in HCl, ma solo a caldo.

CARBONATI ANIDRI CON ALTRI ANIONI

Si tratta di carbonati con ioni OH⁻ contenenti elementi a tendenza calcofila (Cu, Zn, Pb, Bi). Sono tipici delle zone di ossidazione dei giacimenti a solfuri.

AZZURRITE $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ Monoclina prismatica.

Si presenta sia in bei cristalli di notevoli dimensioni, che in noduli fibro-raggiati e in concrezioni spesso alternate a malachite. Il colore è blu intenso con lucentezza da vitrea ad adamantina.

MALACHITE $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ Monoclina prismatica

Raramente si presenta in minuti cristalli, generalmente in masse compatte ed incrostazioni. Il colore è verde.

CARBONATI IDRATI

SODA $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

CARBONATI IDRATI CON ALTRI ANIONI

IDROMAGNESITE $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

NITRATI

SODANITRO NaNO_3

NITRO KNO_3

SOLFATI

Mentre nei *solfori* lo ione negativo (grande e bivalente) S^{2-} è il risultato del riempimento con due elettroni “catturati” dello strato esterno nei *solforati* i sei elettroni presenti nello strato esterno dello zolfo vengono persi dando luogo a uno ione positivo esavalente con raggio tale da assumere con l’ossigeno una coordinazione tetraedrica. I gruppi anionici $(SO_4)^{2-}$ sono le unità base dei solfati. La genesi può essere: sedimentaria evaporitica di acque marine o raramente lacustri (gesso), idrotermale di bassa temperatura (barite), di alterazione superficiale di solfori (calcantite), fumarolica ossia di esalazioni vulcaniche (mercallite). Da un punto di vista descrittivo possono essere raggruppati in funzione della loro costituzione chimica:

- 1) Solfati anidri
- 2) Solfati anidri con altri anioni
- 3) Solfati idrati
- 4) Solfati idrati con altri anioni
- 5) Seleniati, tellurati, cromati
- 6) Molibdati, wolframati

SOLFATI ANIDRI

Il catione prevalente in questi solfati è un metallo alcalino terroso: Ca, Sr, Ba cui si associa il Pb.

ANIDRITE (CaSO_4 , rombica).

Non è isostrutturale con i minerali del gruppo della barite (il calcio è in coordinazione 8, mentre il Ba 12). E' rara in cristalli euedrali tabulari o prismatici, comunemente è massiva. La lucentezza va da vitrea a perlacea, è incolore o con colorazioni lievi. Si distingue dalla calcite per la densità più alta e dal gesso, perché non si scalfisce con l'unghia. La genesi è evaporitica spesso associata a dolomite, gesso e salgemma.

SOLFATI ANIDRI

GRUPPO DELLA BARITE: CELESTINA (SrSO_4), BARITE (BaSO_4), ANGLESITE (PbSO_4).

Hanno cristalli incolori o con deboli colorazioni, normalmente tabulari con perfetta sfaldatura basale. La lucentezza è vitrea o perlacea, per celestina e barite, perlacea o adamantina per l'anglesite. Non si scalfiscono con l'unghia. Si distinguono fra di loro per la densità, crescente dalla celestina all'anglesite, dovuta alla sostituzione di Sr con Ba e Pb rispettivamente.

CELESTINA: rombica bipiramidale, con i cationi in coordinazione 12. I cristalli sono prismatici frequentemente con colorazione azzurra, ma generalmente sono incolori. La genesi è evaporitica e sono spesso associate a zolfo, aragonite e gesso. In Italia sono famose quelle dei giacimenti siciliana szolfo.

BARITE: i cristalli sono tabulari e talvolta prismatici. Il colore è bianco con lucentezza vitrea. La genesi è sia idrotermale che evaporitica

ANGLESITE: si può trovare in bei cristalli limpidi e trasparenti. Frequenti sono anche i cristalli neri o grigi con inclusioni di galena. Si trova associata alle zone di alterazione dei giacimenti a galena.

SOLFATI ANIDRI con altri anioni

La maggior parte di questi minerali è costituita da sali basici con Cu e Pb. Sono presenti come minerali di alterazione di giacimenti a solfuri a Cu e Pb.

BROCANTITE $\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4$ E' monoclina prismatica ma a causa di poligeminazioni spesso si presenta con pseudosimmetria rombica.

Rara in cristalli ben sviluppati (individui prismatici allungati o aghiformi), si presenta generalmente in masse compatte o incrostazioni. Ha colorazione verde smeraldo e una lucentezza elevata.

Si forma per alterazione nei giacimenti cupriferi, spesso associata a malachite e azzurrite.

SOLFATI IDRATI.

GESSO ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, monoclino prismatico).

E' il più importante solfato idrato e ha una struttura a strati di $(\text{SO}_4)^{2-}$ (paralleli alla forma semplice 010) fortemente legati a Ca^{2+} intervallati da molecole di H_2O che hanno legami con gli strati più deboli ed è per questo che il gesso ha una eccellente sfaldatura. Si ritrova in bei cristalli tabulari o prismatici che possono raggiungere anche dimensioni molto grandi. Frequenti sono i geminati, in particolare a coda di rondine. Ha normalmente lucentezza vitrea ed è incolore o colorato per impurità. Normalmente ha notevole trasparenza. Caratterizzato dalla bassa durezza (2), è scalfito con l'unghia, e dalla sfaldatura perfetta. Tra le sue varietà citiamo l'alabastro (microcristallino compatto) utilizzato per sculture e oggetti di arredamento, la rosa del deserto (gesso ricoperto da sabbia), la selenite (grandi masse limpide e trasparenti), la sericolite (gesso fibroso con lucentezza sericea). Viene usato per la sua capacità di disidratarsi con il riscaldamento fino a $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$; questa sostanza se bagnata assorbe acqua, si dilata e, indurendo, diventa un legante (gesso da presa).

SOLFATI IDRATI con altri anioni

In questa sottoclasse di solfati vi sono numerose specie, ma di scarsa rilevanza pratica e talora anche non del tutto determinate dal punto di vista strutturale e chimico.

Per l'importanza tecnologica ricordiamo l'ETTRINGITE e la THAUMASITE.

ETTRINGITE: $\text{Ca}_6[\text{Al}(\text{OH})_6]_2(\text{SO}_4)_3$ Diesagonale Bipiramidale. E' un solfoalluminato idrato di calcio che per infiltrazione di acque solfatiche può formarsi dopo la presa nei conglomerati cementizi causandone il rapido deterioramento.

In natura si rinviene in masse carbonatiche termometamorfosate da effusioni laviche.

SELENIATI, TELLURATI, CROMATI.

Si riscontrano pochi e rarissimi minerali. Per i cromati il più importante è la crocoite.

CROCOITE PbCrO_4 monoclina prismatica.

È un minerale straordinariamente estetico con un bel colore rosso arancio, lucentezza adamantina e cristalli prismatici allungati a formare druse. La località più famosa è in Tasmania dove sono state rinvenute druse di oltre un metro quadrato di superficie con cristalli di oltre 10 cm.

MOLIBDATI E WOLFRAMATI.

Costituiscono un gruppo abbastanza omogeneo viste le affinità geochimiche di Mo e W. Sono i principali minerali utili per questi elementi e in particolare per il W o tungsteno.

I minerali principali, che hanno geni pneumatolitico-idrotermale, sono la WOLFRAMITE e la SCHEELITE.

SCHEELITE CaWO_4 Tetragonale Bipiramidale spesso in masse compatte frequentemente associata alla Wolframite. Oltre che di geni pneumatolitico-idrotermale, forma giacimenti legati a metasomatismo su calcari. Nei cristalli euedrali ha aspetto litoide con colorazioni variabili dal verdolino al grigio. Fluorescente alla luce di Wood. In Italia bei cristalli sono stati rinvenuti nella miniera di Traversella in Piemonte.

FOSFATI, Arseniati, Vanadati

Sono caratterizzati dal gruppo tetraedrico $(\text{PO}_4)^{3-}$ che da luogo a tetraedri isolati nella struttura. E' una classe di minerali molto numerosa ma il più abbondante e comune fosfato è l'apatite, $(\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH}))$, esagonale, che può avere estese soluzioni solide sia per gli anioni che per i cationi dando luogo a una serie di minerali (serie dell'apatite): carbonato-apatite, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3\text{OH})\text{F}$, cloro-apatite, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$, fluoro-apatite, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, idrossi-apatite, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$. Sono rare o molto rare escluso la fluoro-apatite. L'apatite comunemente si trova in cristalli prismatici, allungati o schiacciati, di solito terminati da bipiramidi. L'apatite cripto cristallina, massiva, che costituisce la massa delle rocce fosfatiche e le ossa fossili chiamata collofane.

L'apatite è un minerale accessorio sia di rocce ignee (nello stadio ortomagmatico come minerale accessorio e quindi nello stadio pegmatitico-idrotermale) che sedimentarie (alterazione e rideposizione) e metamorfiche. Ha una lucentezza da vitrea a quasi resinosa, e una grande varietà di colori. La forma dei cristalli, la durezza (5) e la colorazione sono le caratteristiche distintive.

Alcuni fosfati contengono U e Th e risultano per questo molto importanti.

SERIE DELL'APATITE $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$

IDROSSI-APATITE $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$

FLUORO-APATITE $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F})$

COLORO-APATITE $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{Cl})$

Genesi da magmatica a sedimentaria. Si presenta in masse compatte biancastre. Talvolta in bei cristalli prismatici incolori o rossi.

La apatiti criptocristalline costituiscono le fosforiti ossia dei depositi di fosforo derivanti da accumulo di guano di uccelli.

L'idrossiapatite è il costituente mineralogico delle ossa.

MICHE DI URANIO

AUTUNITE $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

Si tratta di un minerale radioattivo dai colori molto vivaci, fosforescente.
E' un minerale diffuso nelle zone di alterazione dei giacimenti di uranio.

BORATI

Il Boro si lega all'ossigeno per dare luogo a poliedri di coordinazione triangolare planare o tetraedrica. I poliedri possono concatenarsi dando luogo a configurazioni simili a quelle dei silicati. L'unione dei tetraedri avviene per vertici.

Genesi: prodotti finali della cristallizzazione frazionata (pegmatiti) e nelle esalazioni fumaroliche. Nei prodotti evaporitici sia marini (Mg, Na) che lacustri (Ca, Na). Genesi peculiare è quella delle esalazioni di vapore H₂O surriscaldata dei soffioni boraciferi di Larderello in Toscana.