

I Minerali: I mattoni delle rocce

Testo di riferimento: F. Press & R. Siever Capire la Terra. Zanichelli. Cap 2

Sito web Prof. Michele Lustrino Univ. Roma: voce Curriculum Didattica

<http://tetide.geo.uniroma1.it/sciterra/sezioni/lustrino/it/default.htm>

Minerale: Sostanza solida cristallina naturale, generalmente inorganica, con una composizione chimica specifica

Quarzo



Solido – esclude gas e liquidi.

Naturale – le versioni sintetiche (es. diamanti artificiali) non sono considerate minerali

Cristallino - ordinamento a scala atomica: reticolo strutturale interno di atomi (o ioni) disposti secondo un modello geometrico regolare.

Composizione chimica definita – la sua composizione può essere espressa da una specifica formula chimica. Quarzo = SiO_2

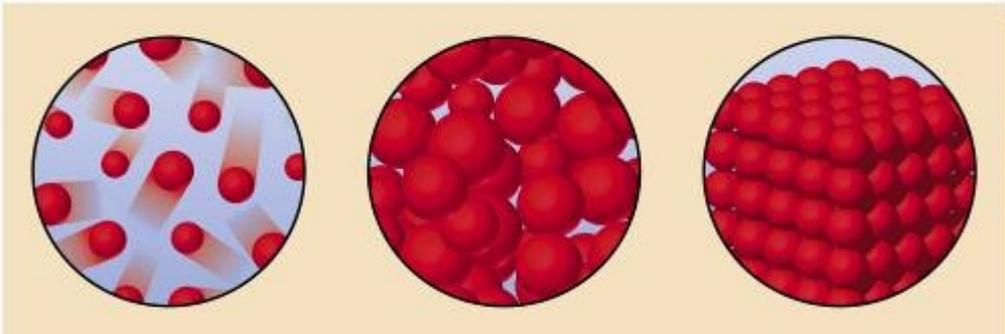
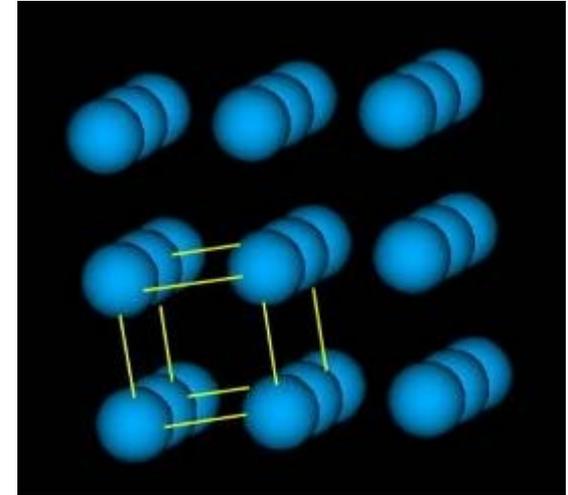
Formato generalmente per processi inorganici – sono generalmente escluse le sostanze organiche. Il carbone fossile non è considerato un minerale.

Minerali e stato cristallino

I minerali posseggono una disposizione interna (di atomi o ioni) **ordinata** e **periodica**.

Il complesso di atomi o ioni disposti ordinatamente e periodicamente viene definito **reticolo cristallino**.

E' questa la differenza fondamentale tra stato solido e stato cristallino: lo stato cristallino è caratterizzato da ordine tridimensionale, lo stato solido non necessariamente (solo se è anche cristallino).



Un minerale quindi è un solido,
un solido non è sempre un
minerale.

I solidi che non hanno struttura ordinata degli atomi sono detti vetrosi o amorfi



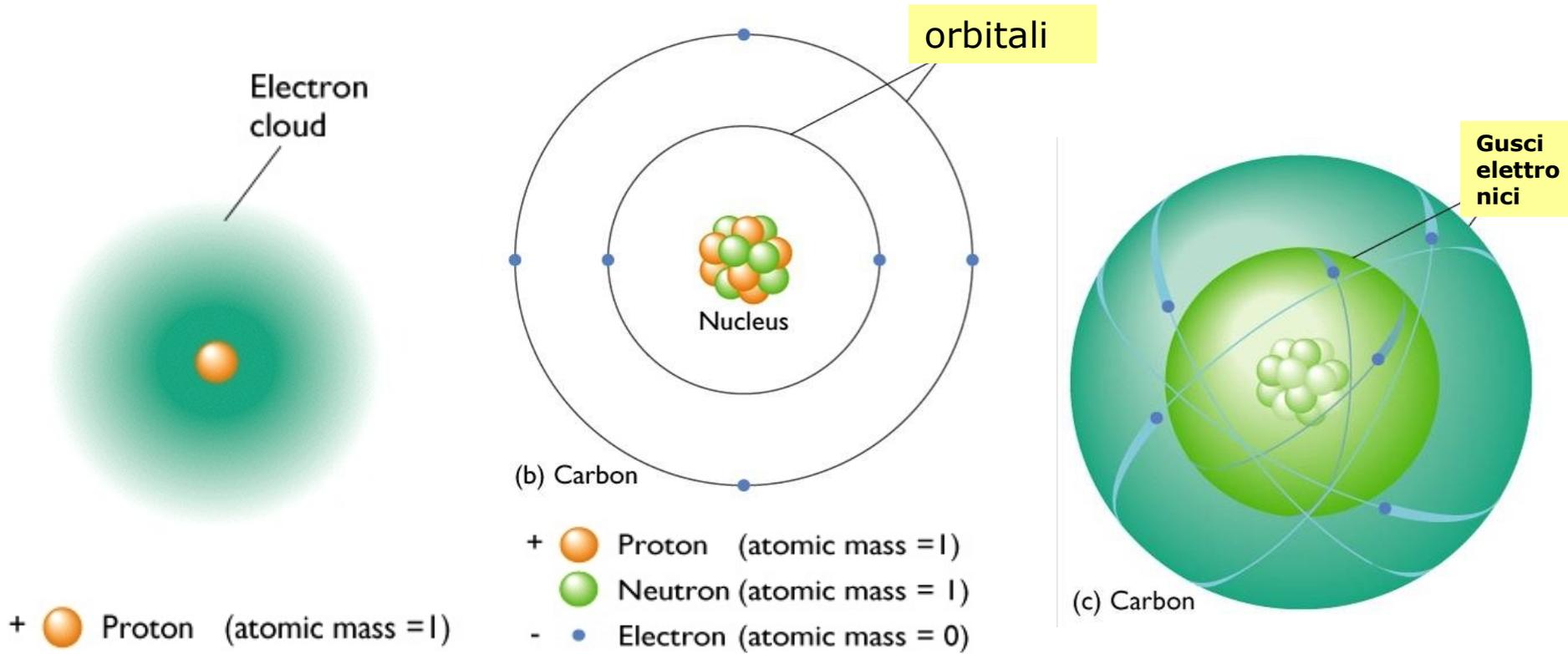
Gli atomi: I mattoni dei minerali

Gli atomi si combinano in reazioni chimiche e sono divisibili in parti più piccole.

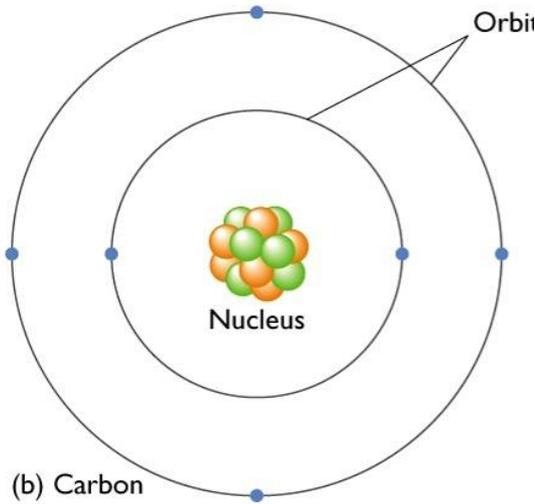
Il **nucleo** contiene quasi tutta la massa dell'atomo ed è fatto di **protoni** (carica elettrica positiva +1) e di un numero uguale di **neutroni** (elettricamente neutri). Il nucleo è circondato da una nube di **elettroni** (carica elettrica negativa -1) disposti in orbitali, assimilabili a gusci concentrici attorno al nucleo. Il numero dei protoni e degli elettroni si equivale: l'atomo è elettricamente **neutro**

Ogni elemento ha un numero caratteristico di protoni detto **numero atomico**

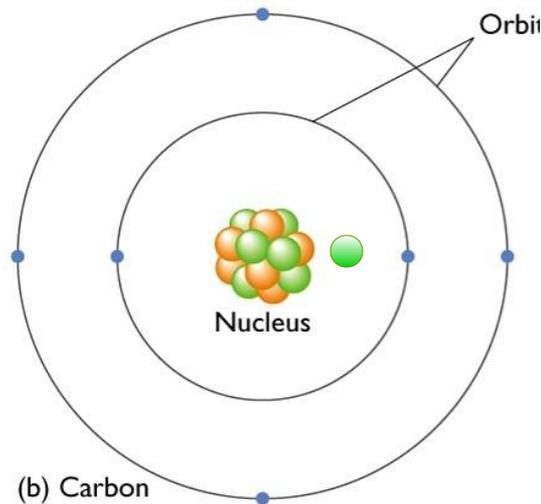
Protoni e neutroni hanno massa, la massa degli elettroni è trascurabile. Il numero di massa = protoni + neutroni.



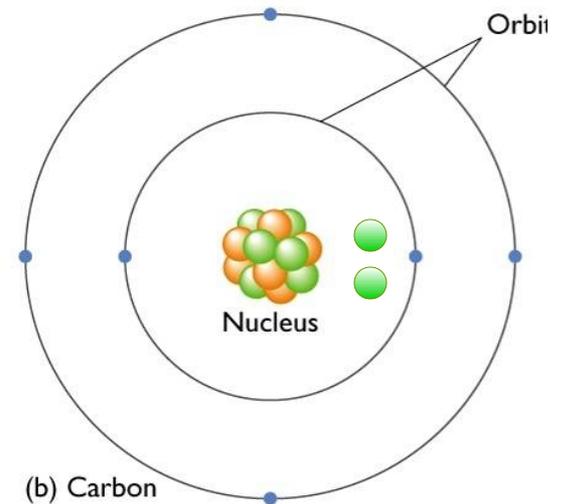
Isotopi: atomi dello stesso elemento con differente n. di neutroni e quindi diverso n. di massa



Carbonio 12
 $6p+6n$
N Massa 12



Carbonio 13
 $6p+7n$
N Massa 13

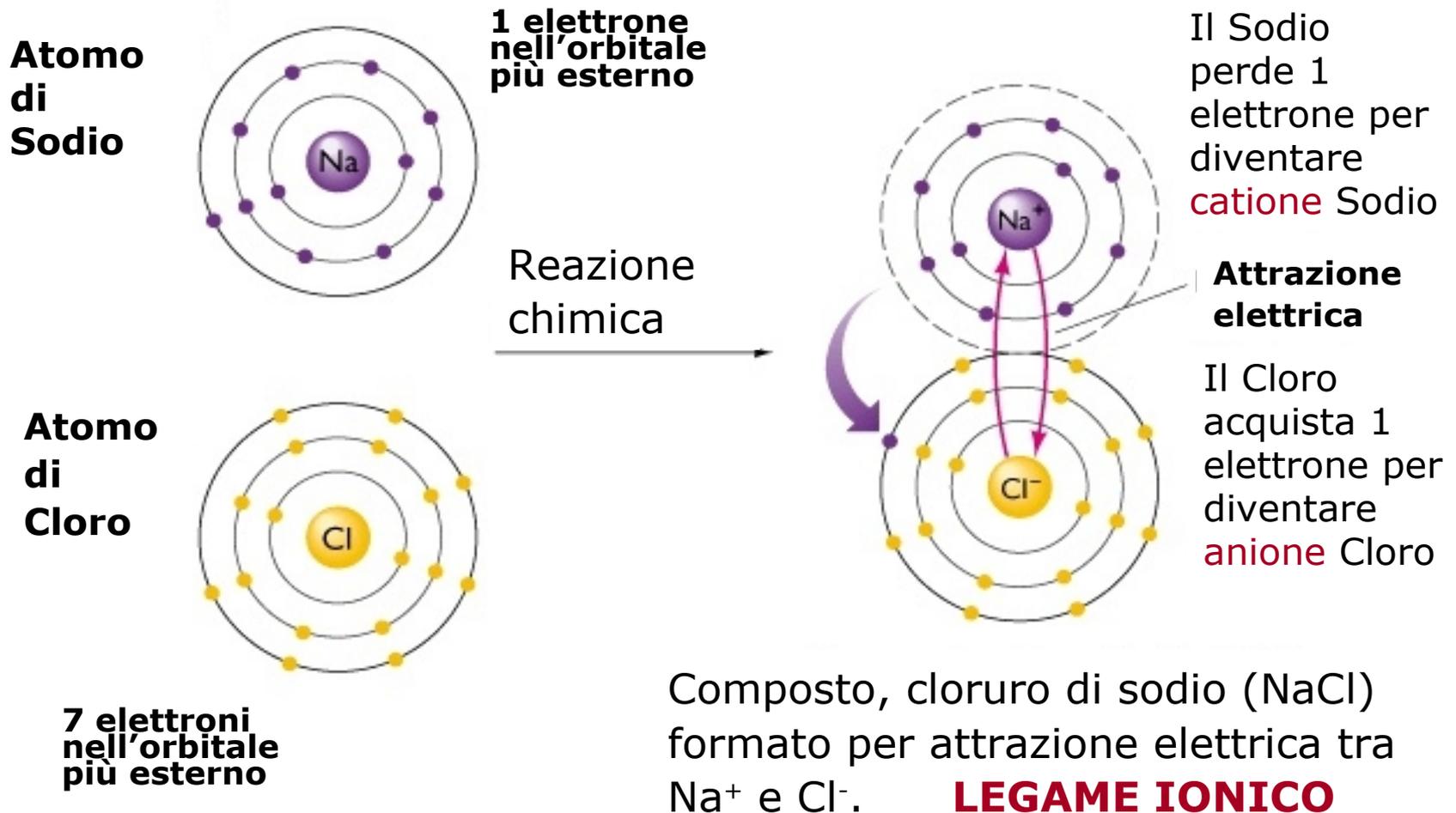


Carbonio 14
 $6p+8n$
N Massa 14

Reazioni chimiche e legami nei minerali

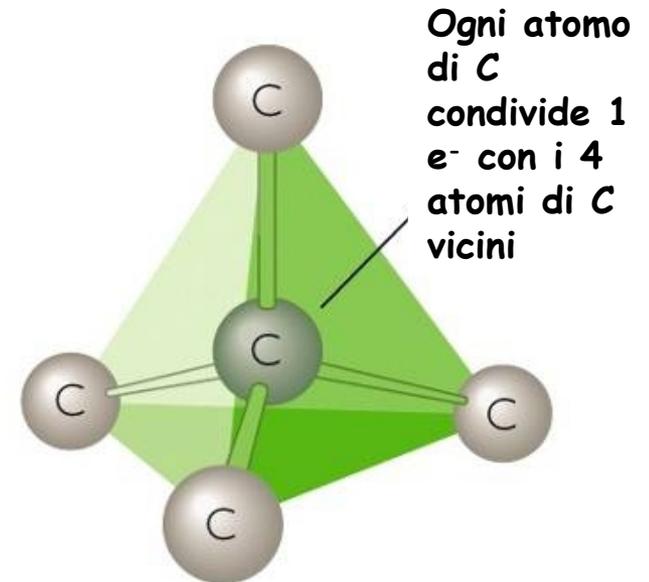
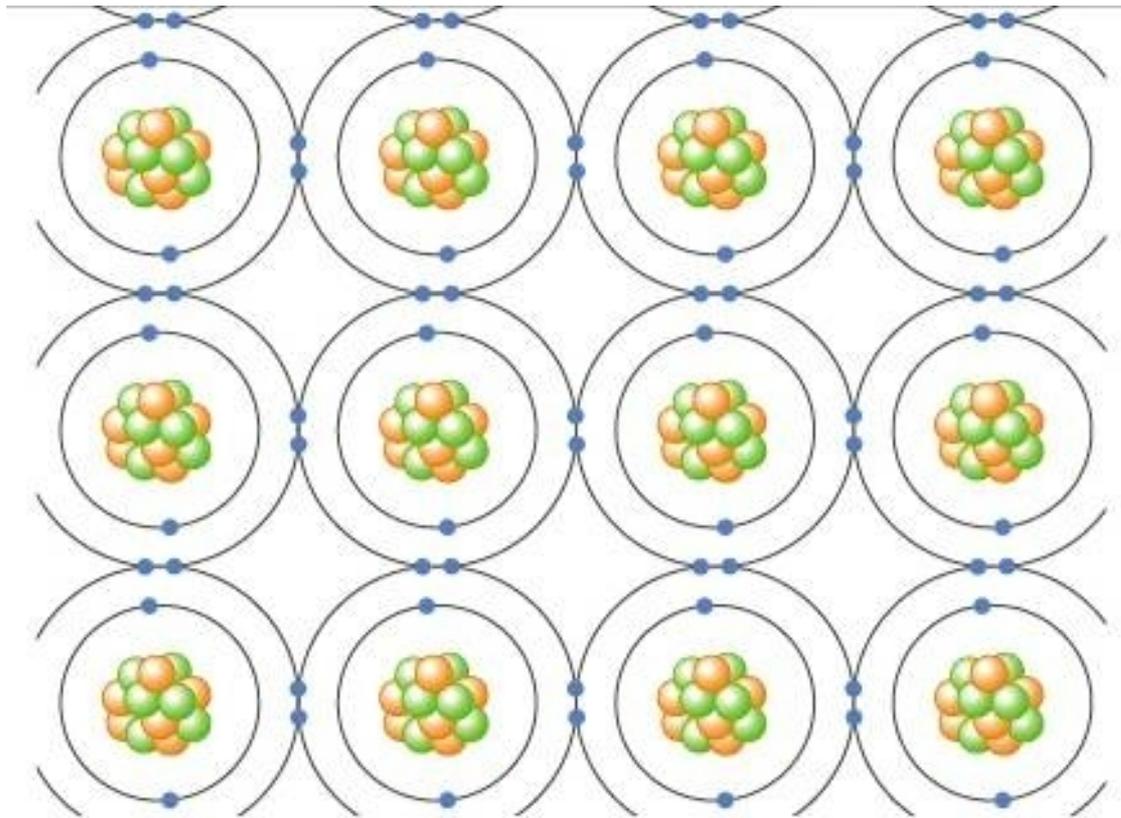
La struttura di ogni atomo ne determina il comportamento durante le reazioni chimiche. Queste si svolgono principalmente per interazione tra elettroni, per 1) **cessione** oppure per 2) **condivisione** di elettroni.

CESSIONE: Alcuni atomi hanno affinità a cedere elettroni (gli atomi che hanno 1 o 2 e nell'orbitale esterno) altri che hanno tendenza ad acquistarli. E.g. Na cede il suo e, Cl ha **7 e** nel livello esterno, che può acquistarne al massimo 8. **Legame ionico**

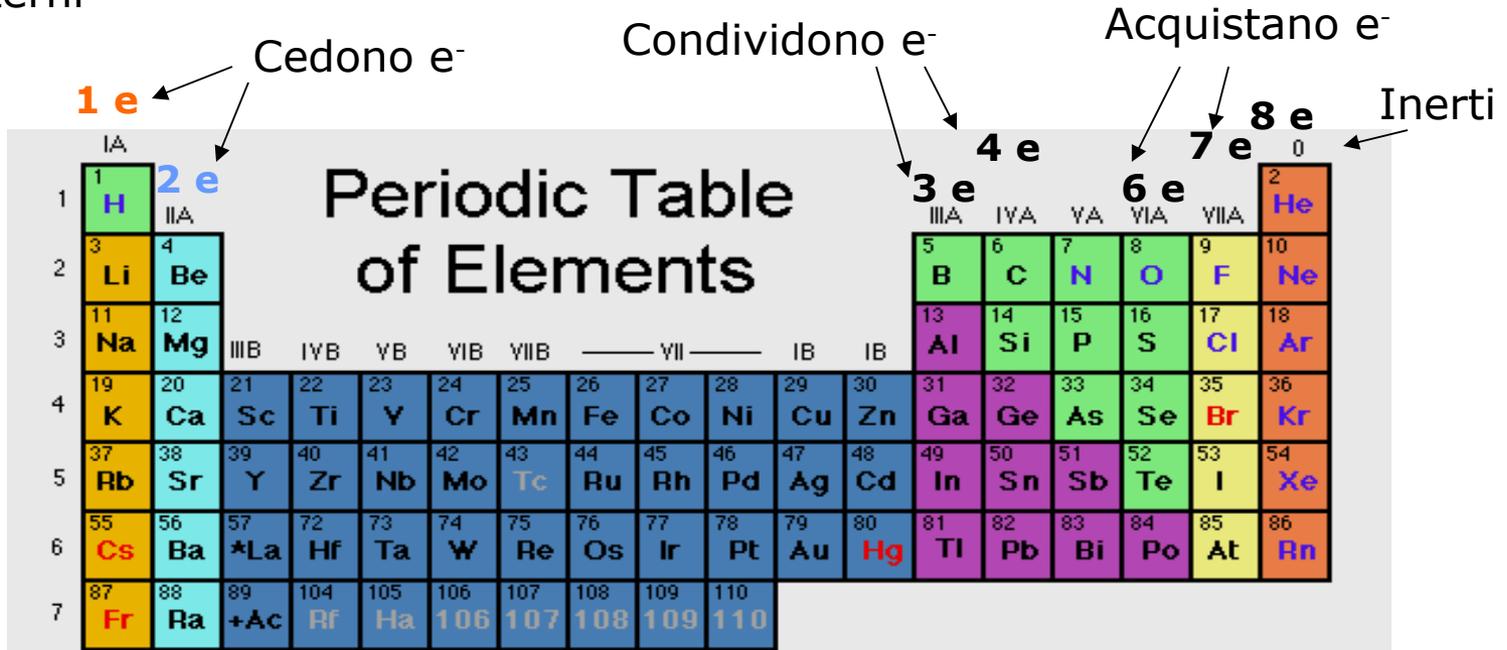


Reazioni chimiche e legami nei minerali

CONDIVISIONE di elettroni. Vengono messi in comune gli elettroni degli orbitali più esterni. Es. il diamante. Il carbonio ha 4 e nell'orbitale esterno: nel diamante ciascun atomo mette in comune 1 elettrone dell'orbitale esterno e arriva ad averne 8.
LEGAME COVALENTE.



Livelli esterni



* Lanthanide Series

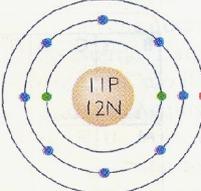
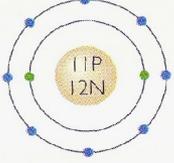
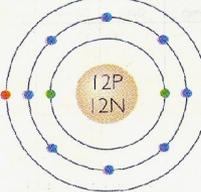
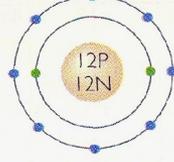
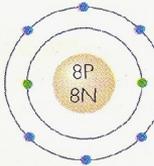
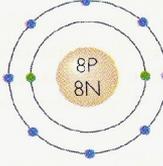
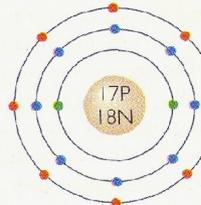
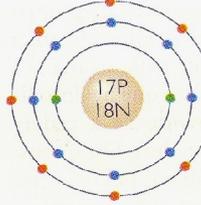
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

+ Actinide Series

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

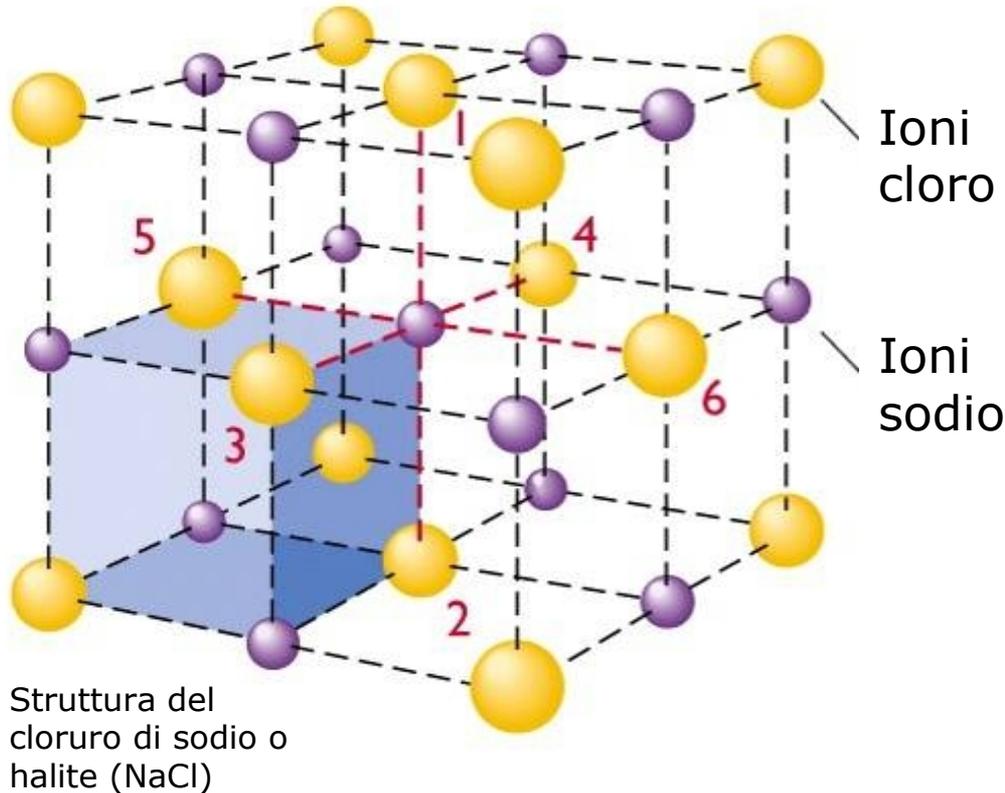
Legend - click to find out more...

H - gas	Li - solid	Br - liquid	Tc - synthetic
 Non-Metals	 Transition Metals	 Rare Earth Metals	 Halogens
 Alkali Metals	 Alkali Earth Metals	 Other Metals	 Inert Elements

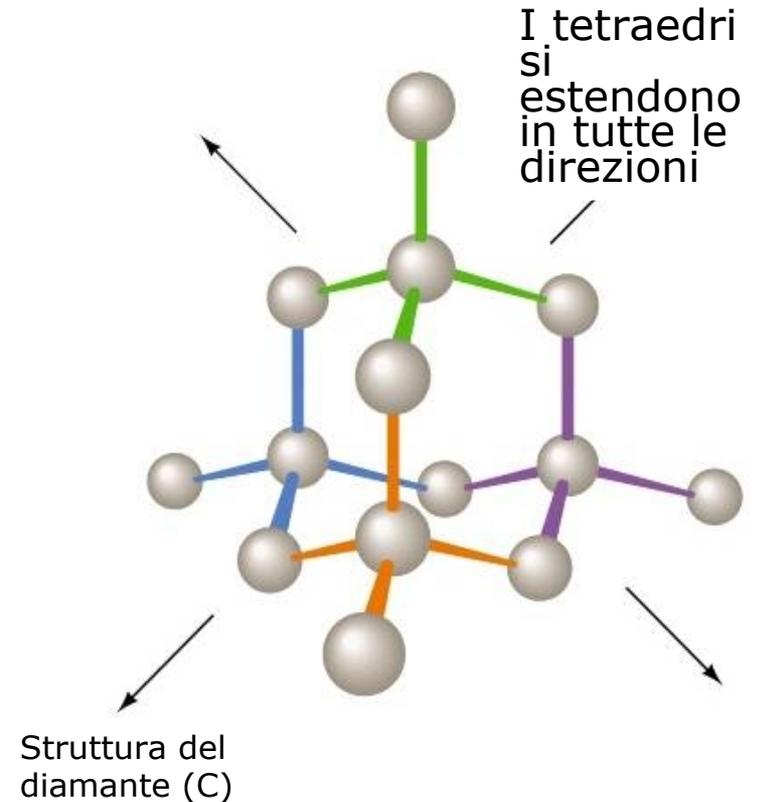
ELEMENTO	NUMERO ATOMICO	ATOMO	IONE
(5) Idrogeno	1	 <p>1 elettrone (H)</p>	 <p>1 elettrone ceduto Nessun elettrone (H⁺)</p>
Sodio	11	 <p>11 elettroni (Na)</p>	 <p>1 elettrone ceduto 10 elettroni (Na⁺)</p>
(15) Magnesio	12	 <p>12 elettroni (Mg)</p>	 <p>2 elettroni ceduti 10 elettroni (Mg²⁺)</p>
Ossigeno	8	 <p>8 elettroni (O)</p>	 <p>2 elettroni acquistati 10 elettroni (O²⁻)</p>
Cloro	17	 <p>17 elettroni (Cl)</p>	 <p>1 elettrone acquistato 18 elettroni (Cl⁻)</p>

La struttura cristallina dei minerali

Per essere un minerale un solido deve avere una composizione chimica specifica e una struttura cristallina.

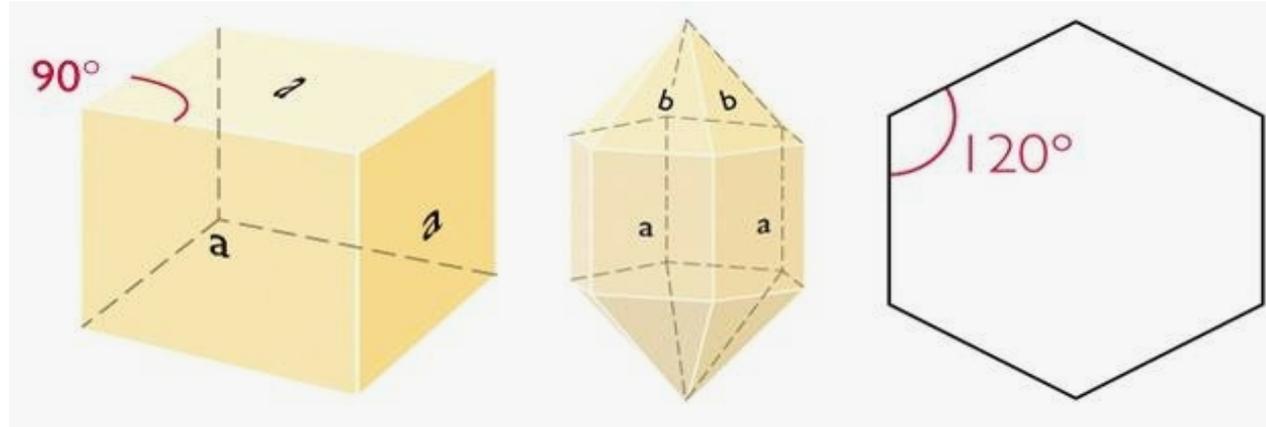


Gli ioni Na⁺ e Cl⁻ del cloruro di sodio cristallizzano in una disposizione ordinata in 3D formando una serie di cubi



Nel diamante gli atomi di C formano tetraedri che si uniscono tra loro per formare una struttura regolare nelle 3D

La cristallizzazione di un minerale inizia con la formazione di cristalli microscopici che si sviluppano secondo superfici piane naturali caratteristiche della loro impalcatura cristallina.



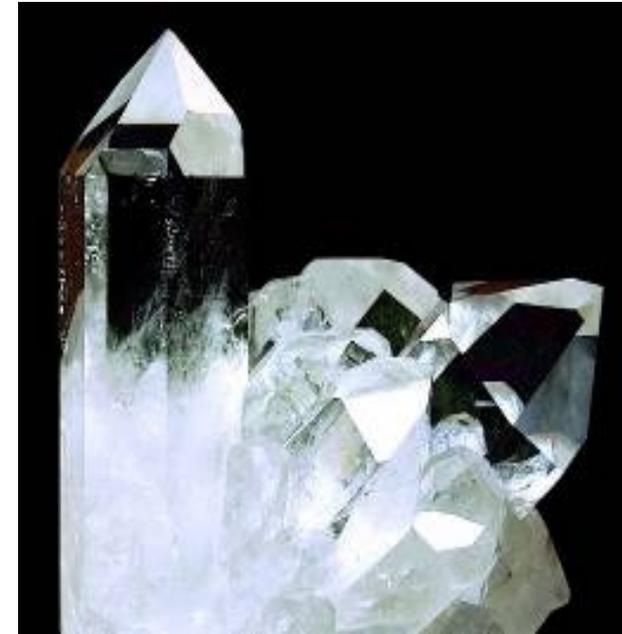
La salgemma (alite, cloruro di sodio) cristallina è in cubi



Il diamante forma tetraedri



Il quarzo forma prismi esagonali.



Le superfici di crescita, dette **facce**, sono la caratteristica esterna che definisce il cristallo. Cubi di salgemma corrispondono alla disposizione cubica degli ioni Na e Cl. La forma a 6 facce (esagonale) del quarzo corrisponde alla struttura atomica interna esagonale. I cristalli si sviluppano conservando le loro facce sinchè sono libere di accrescersi



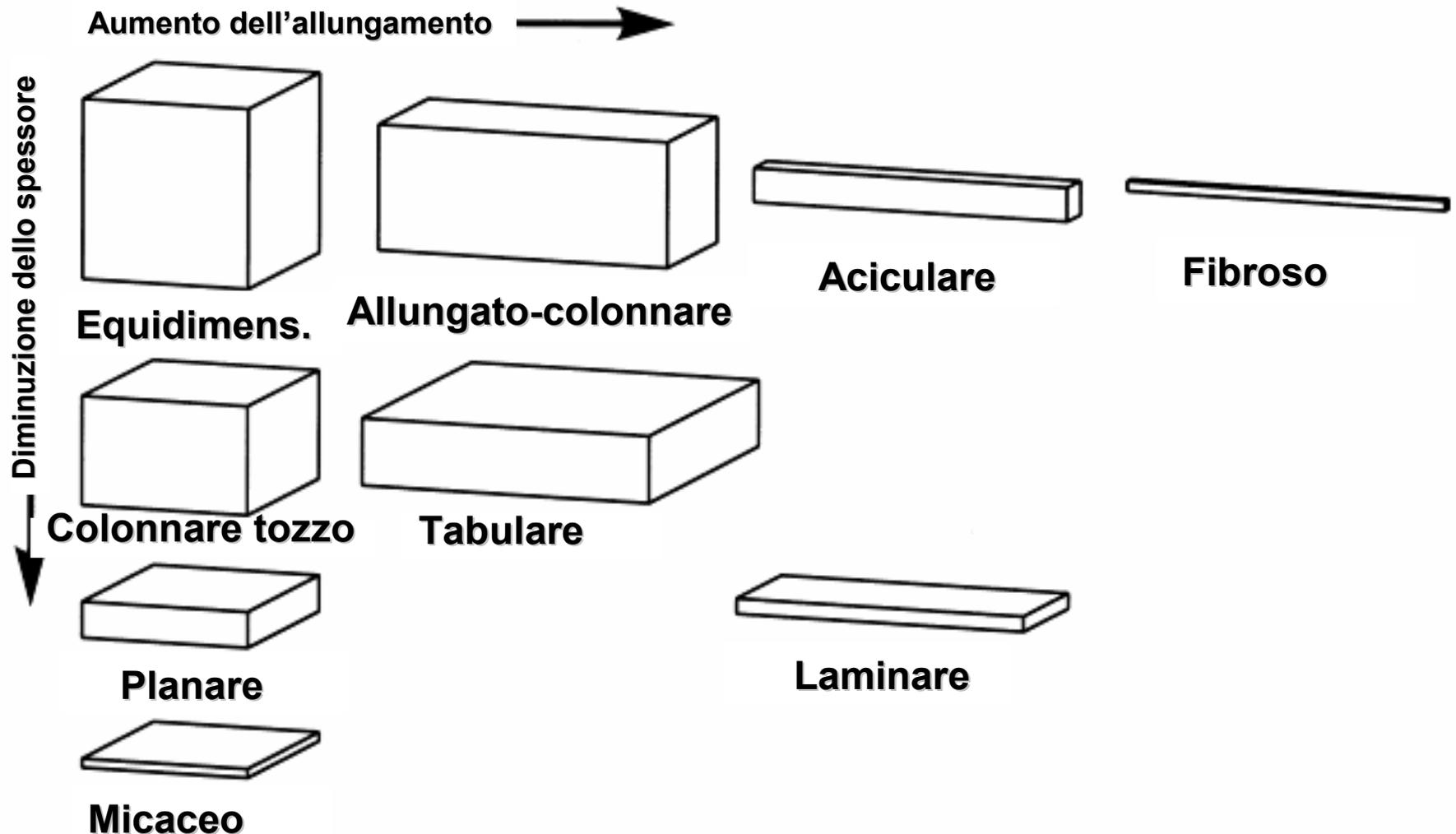
Se gli spazi tra cristalli in accrescimento vengono colmati e/o la cristallizzazione procede velocemente, le facce dei cristalli si accrescono l'una sull'altra e i cristalli si uniscono per formare aggregati compositi detti **granuli**. In un aggregato di granuli, pochi presentano facce cristalline ben sviluppate.

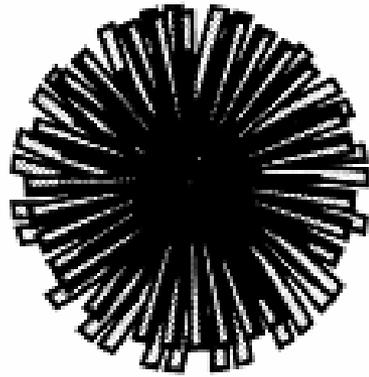
Inoltre la differente velocità di crescita e/o i processi di cristallizzazione, ad esempio di un magma, portano alla formazione di cristalli con abito proprio (idiomorfi) e di cristalli **subidiomorfi**.



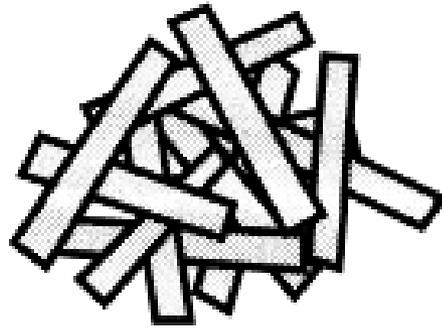
Abito cristallino

- Termini che definiscono la "qualità" dello sviluppo delle facce di un cristallo:
- **Euedrale** = cristallo completamente delimitato da facce cristalline, la cui crescita non è stata limitata o disturbata da cristalli adiacenti.
- **Subedrale** = cristallo delimitato solo in parte da facce cristalline.
- **Anedrale** = cristallo privo di facce cristalline nel quale non è riconoscibile l'abito.



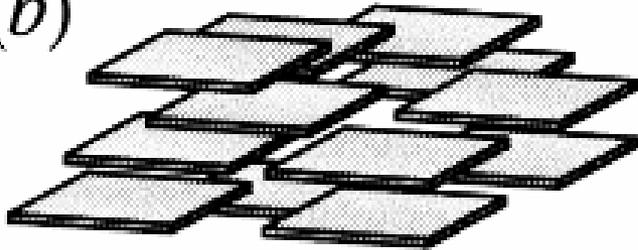


Radiale



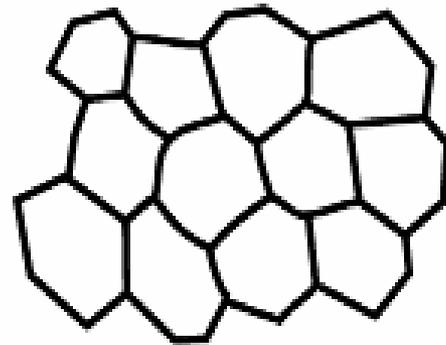
A feltro

(b)



Foliata

(c)



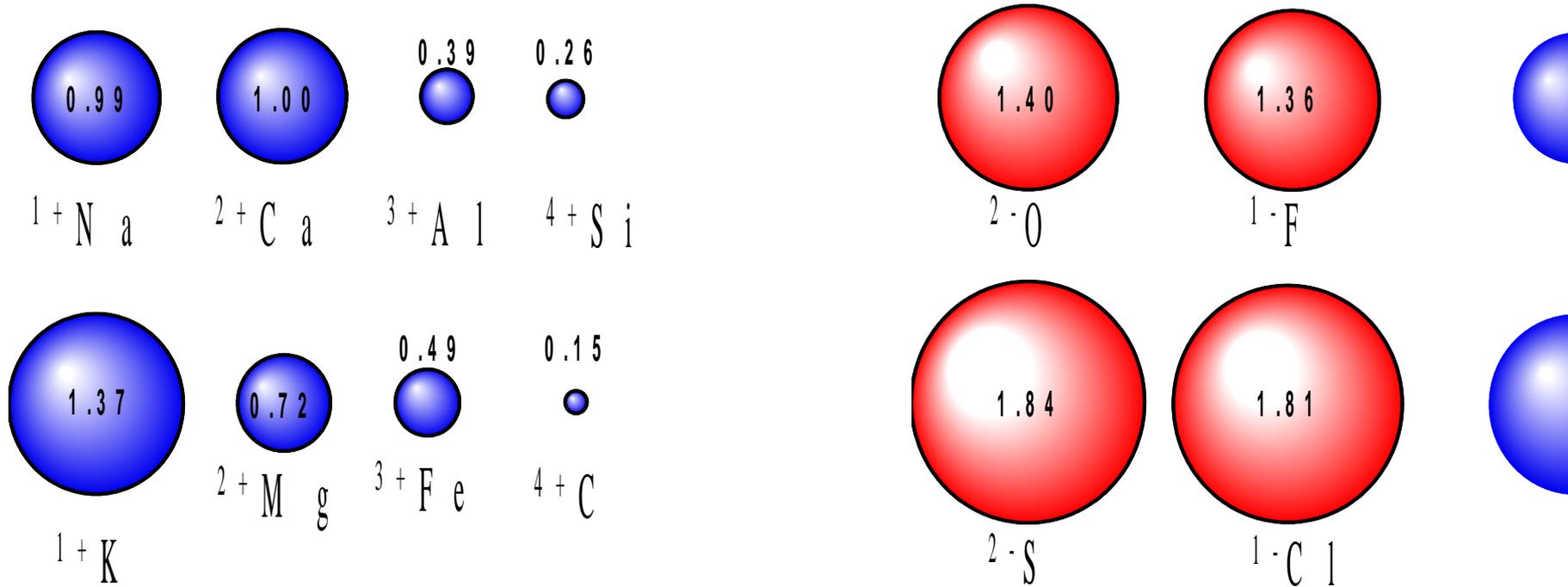
Granulare

Dimensioni degli ioni

La disposizione di atomi e ioni in una struttura cristallina dipende dal numero di atomi e/o ioni che si coordinano tra loro e dalle loro dimensioni

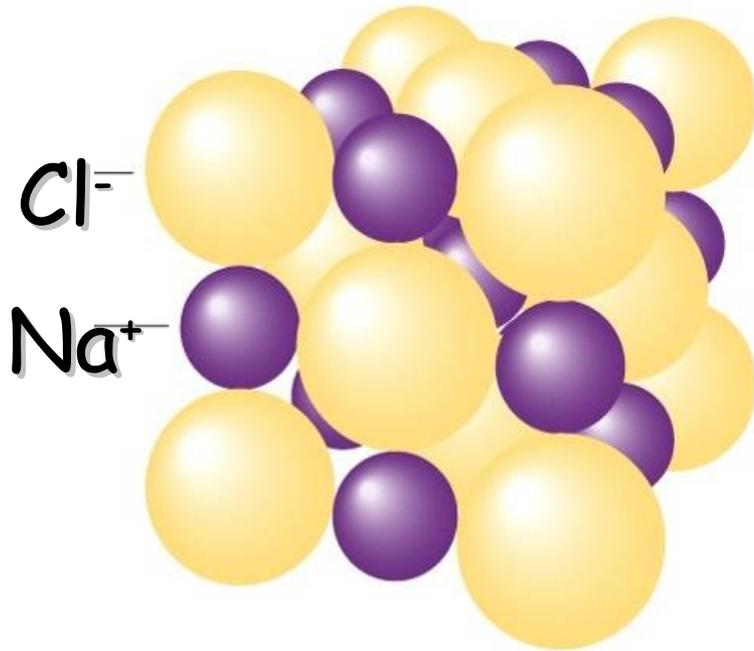
Molti cationi sono relativamente piccoli

Gli anioni sono generalmente grandi, ed es. l'ossigeno



Le dimensioni degli ioni crescono con il n di elettroni e livelli elettronici.

Assimilando gli ioni a sfere, la figura mostra l'impacchettamento di Na e Cl nell'alite, tenendo conto delle dimensioni reali dei due ioni. Poichè gli anioni tendono a essere più grandi dei cationi, la maggior parte del volume di un cristallo è occupato da anioni mentre i cationi si adattano agli spazi tra anioni.



I minerali posseggono la disposizione ordinata interna caratteristica dei solidi cristallini.

Se le condizioni sono favorevoli, essi possono essere delimitati da superfici piane e lisce ed assumere forme geometriche regolari chiamate cristalli.

Hauy (1743-1822) formulò l'ipotesi che la forma esterna di un minerale fosse l'espressione del suo ordine interno, anticipando il concetto moderno di cella elementare.

Cella elementare = la più piccola unità della struttura che, ripetuta all'infinito, genera l'intera struttura.

Ordinamento interno = **motivo** (o gruppo di atomi) ripetuto su di un reticolo.

Reticolo = disposizione periodica di punti nello spazio.

Sostituzione di cationi

I cationi con proprietà chimiche simili e gli ioni con dimensioni simili tendono a sostituirsi l'un l'altro e a formare composti misti di composizioni variabili dette soluzioni solide. Atomi e ioni o gruppi ionici) che godono della possibilità di vicendevole sostituzione si dicono **vicarianti**.

Esempio: l'olivina $(\text{Mg,Fe})_2 \text{SiO}_4$ mostra vicarianza completa tra Mg e Fe.

Polimorfi

Minerali che hanno la stessa composizione chimica, ma strutture diverse sono detti **polimorfi**.

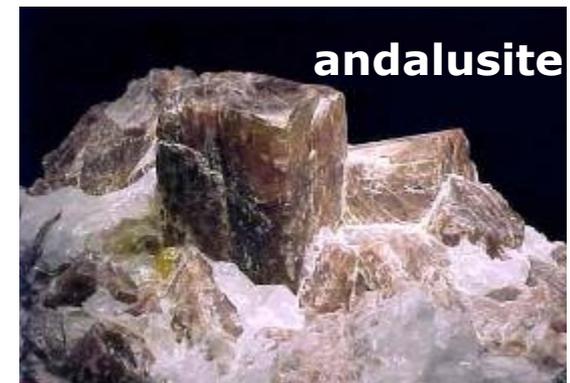
Esempi:

grafite e diamante (C),

quarzo e coesite (SiO_2);

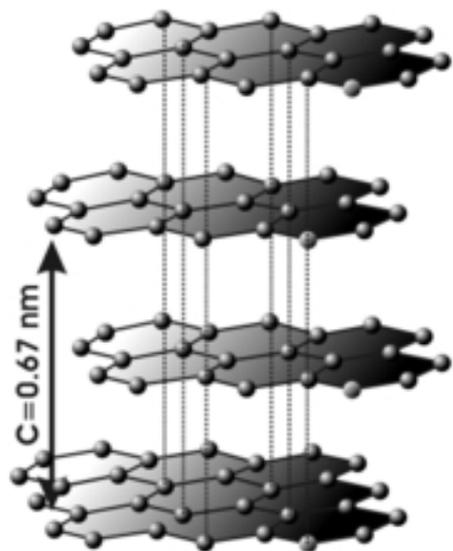
cianite, andalusite, sillimanite (Al_2SiO_5)

Il diamante e la grafite hanno impacchettamento atomico diverso: il diamante ha densità più elevata (3.5 g/cm^3) mentre la grafite, meno compatta, ha densità pari a 2.1 g/cm^3 .



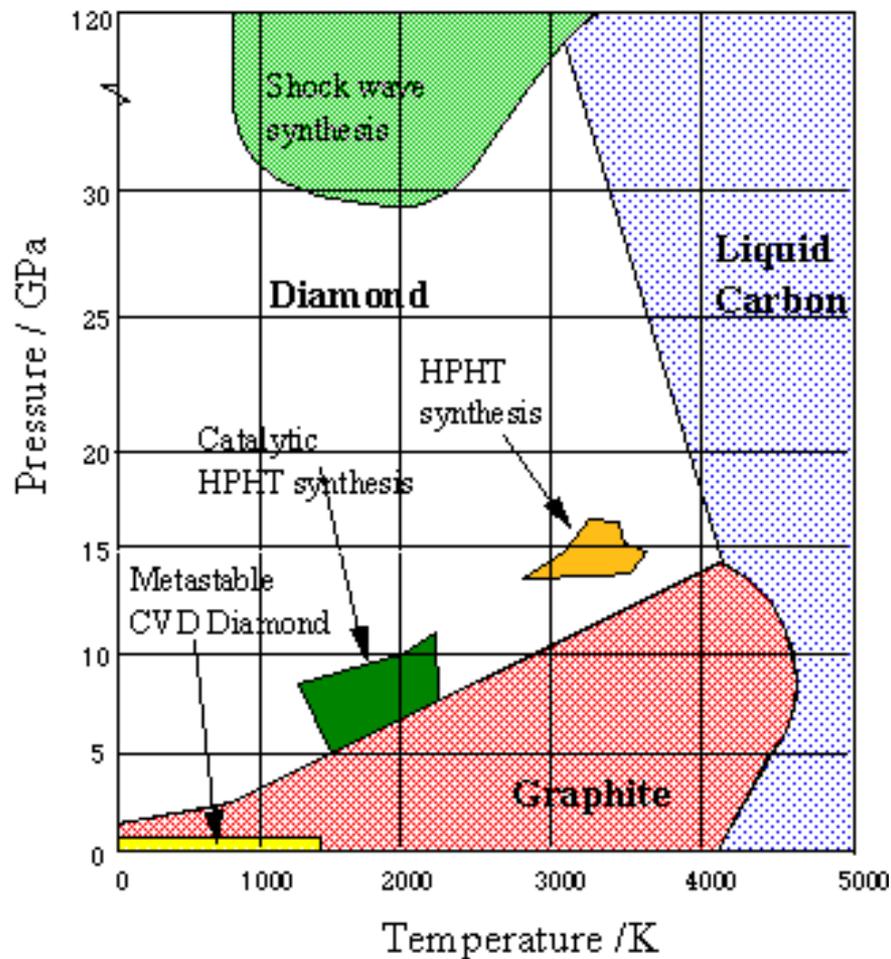
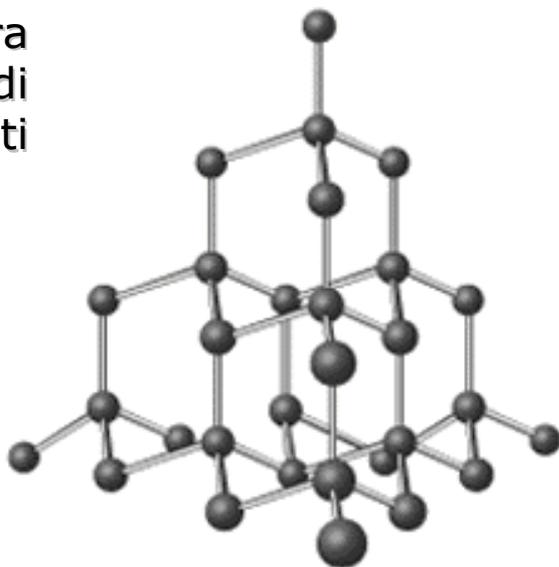
C – grafite

Struttura a strati collegati



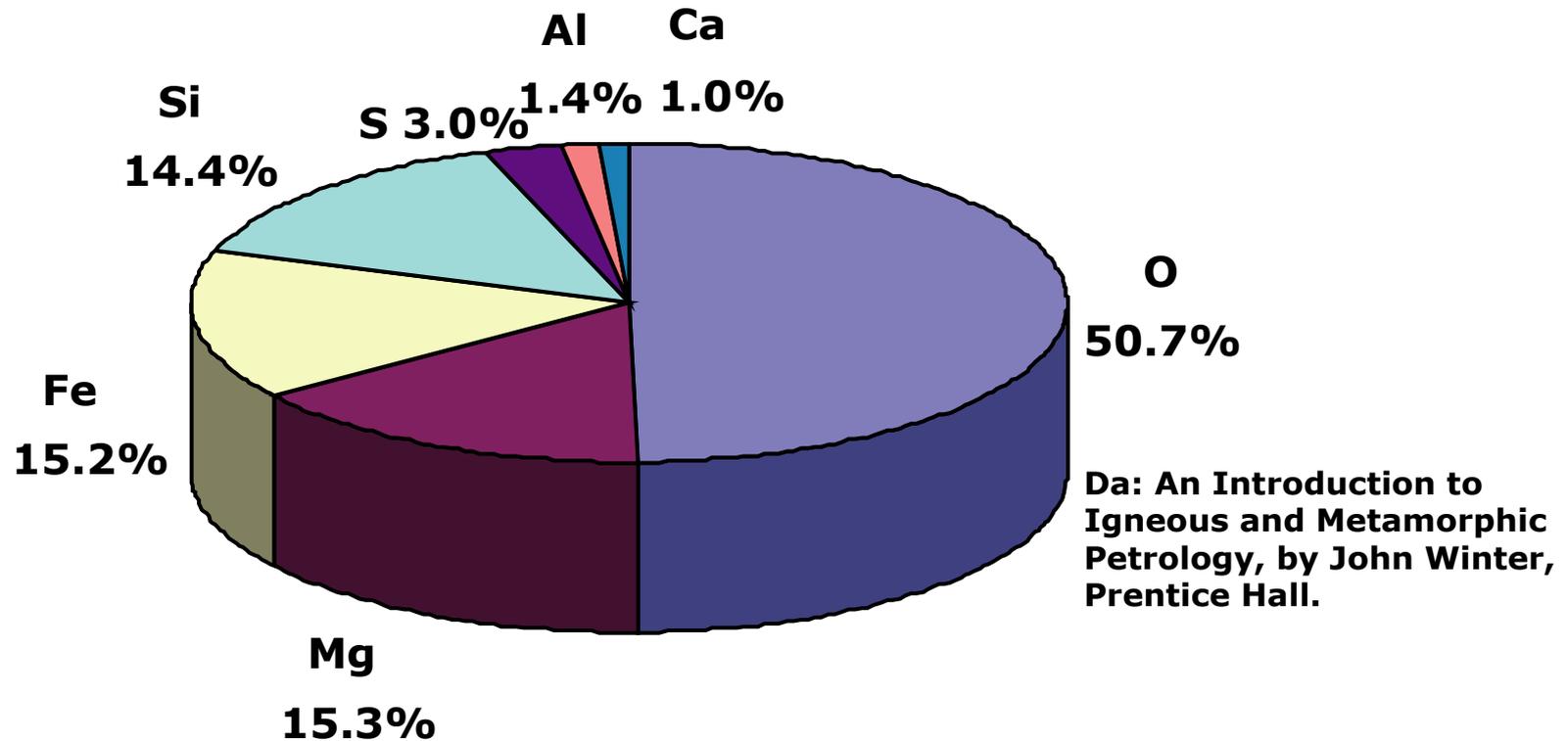
C – diamante

Impalcatura tridimensionale di legami covalenti



I Minerali che formano le rocce

Sebbene esistano moltissimi minerali, di solito i geologi ne incontrano un numero limitato, circa 30. Questo piccolo numero rispecchia il numero relativamente contenuto di elementi che costituiscono il 97% della crosta e del mantello terrestre.

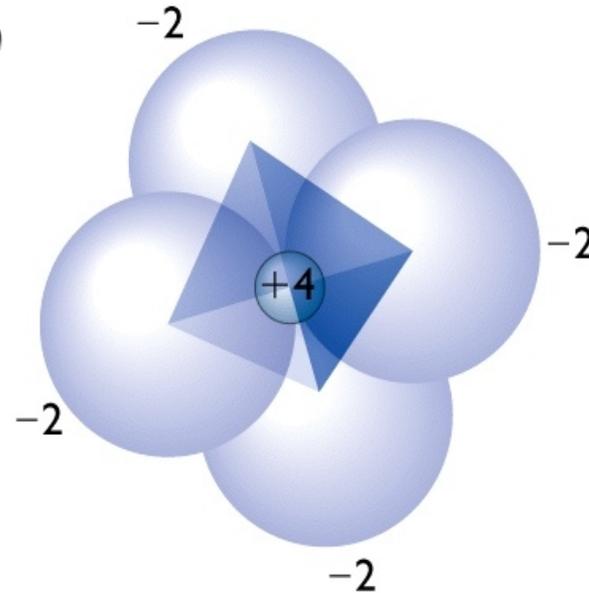
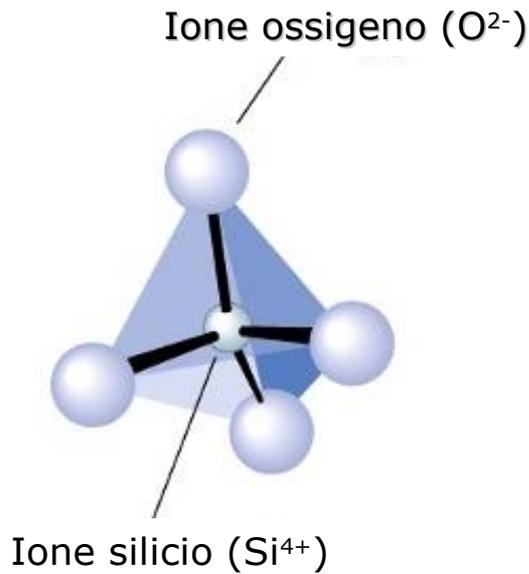


Tra i minerali costituenti le rocce i più abbondanti sono i **silicati** formati da una combinazione di ossigeno, silicio e altri elementi abbondanti.

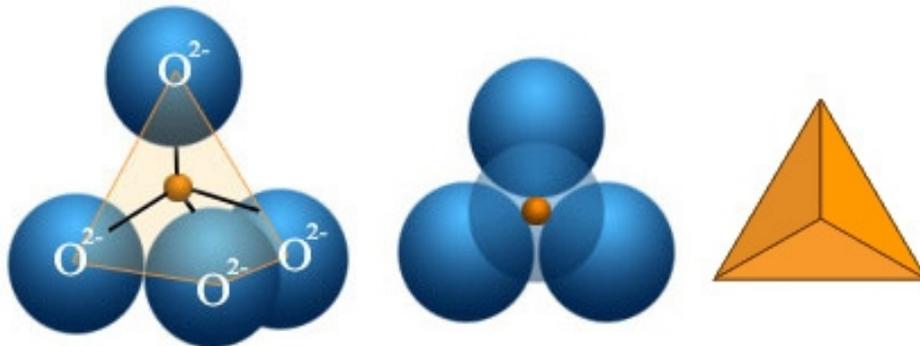
Altri importanti costituenti sono: gli **ossidi**, costituiti da ossigeno combinato con un elemento metallico; i **carbonati** costituiti da Ca e/o Mg in combinazione con C ed O; i **solfori** ed i **solforati**.

I silicati

L'unità fondamentale di tutte le strutture dei silicati consiste in quattro ioni O^{2-} ai vertici di un tetraedro regolare che circondano (e sono coordinati da) uno ione Si^{4+} posizionato al centro. Si e O tetraedrici condividono gli elettroni



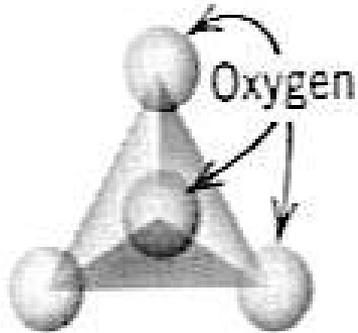
Ogni ossigeno del tetraedro condivide una carica negativa -1 con il silicio al centro e mette a disposizione l'altra carica negativa per altre condivisioni.



Ogni ione O^{2-} ha perciò la potenzialità di legarsi ad un altro ione silicio e partecipare ad un altro gruppo tetraedrico collegando i vari gruppi tetraedrici tramite ossigeni condivisi (o *ossigeni ponte*).

La condivisione di ossigeni può coinvolgere uno, due tre o tutti e quattro gli ossigeni del tetraedro, originando una varietà di configurazioni strutturali.

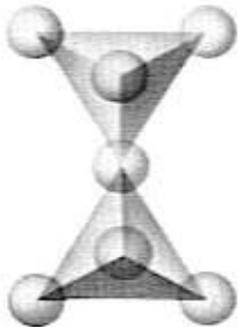
1 Alcuni silicati sono costituiti da singoli tetraedri isolati uniti tra loro mediante un legame tra ogni ione ossigeno dei tetraedri e un catione diverso da Si.



Tetraedri isolati

Nesosilicati

Silicati con gruppi tetraedrici SiO_4 isolati (nei quali cioè i tetraedri non sono collegati tra di loro; dal greco *nesos* = isola)
Minerali importanti: **olivina, granati, alluminosilicati**



Unità a due tetraedri

2 Sorosilicati

Silicati con piccoli gruppi tetraedrici SiO_4 collegati fra loro; dal greco *soros* = gruppo)

1 Nesosilicati



Fosterite



Olivina in basalto

Olivina: $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$. Forsterite Mg_2SiO_4 Fayalite Fe_2SiO_4

Granati

Piropo



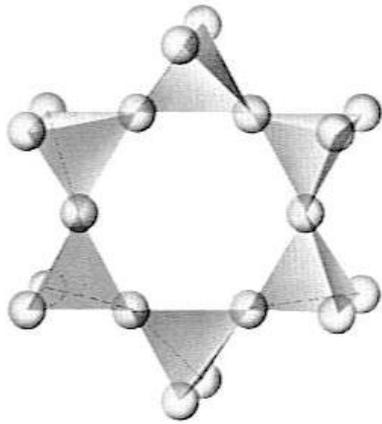
Piropo
 $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$



Almandino
 $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$



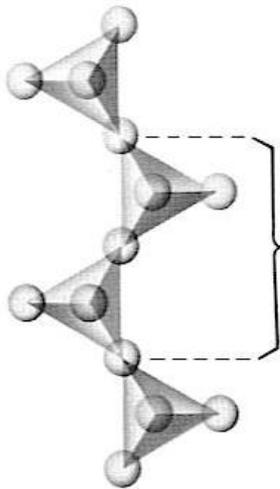
Grossularia
 $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$



Anello a sei tetraedri

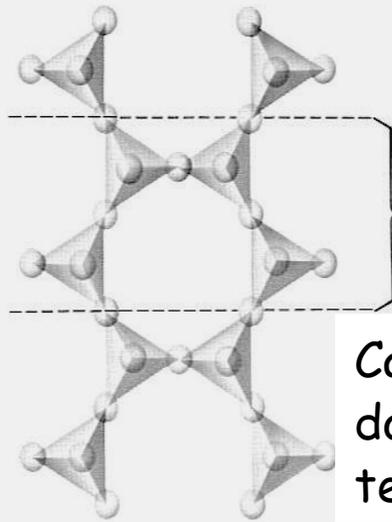
3 Ciclosilicati

Silicati con gruppi tetraedrici SiO_4 collegati tra loro a formare un anello (dal greco *kyklos* = circolo)



Catena singola di tetraedri

pirosseni



Catena doppia di tetraedri

anfiboli

4 Inosilicati

Silicati con gruppi tetraedrici SiO_4 collegati a formare catene singole o doppie di lunghezza indefinita (dal greco *inos* = fibra)

Minerali importanti:
pirosseni, anfiboli

4. Inosilicati



Ortopiroseni



Caratteristiche:

**abito prismatico tozzo;
colore marrone bruno;
presenza di
sfaldature**



Clinopiroseni



Caratteristiche:

**abito prismatico tozzo;
colore verde, nero;
presenza di sfaldature**

4. Inosilicati



Anfiboli

Tremolite $\text{Ca}_2 \text{Mg}_5 \text{Si}_8 \text{O}_{22} \text{OH}_2$

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

Orneblenda $\text{K} (\text{Ca}, \text{Na})_2 (\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5 \text{Si}_8 \text{O}_{22} \text{OH}_2$

Glaucofane $\text{Na}_2 (\text{Al}, \text{Mg})_5 \text{Si}_8 \text{O}_{22} \text{OH}_2$

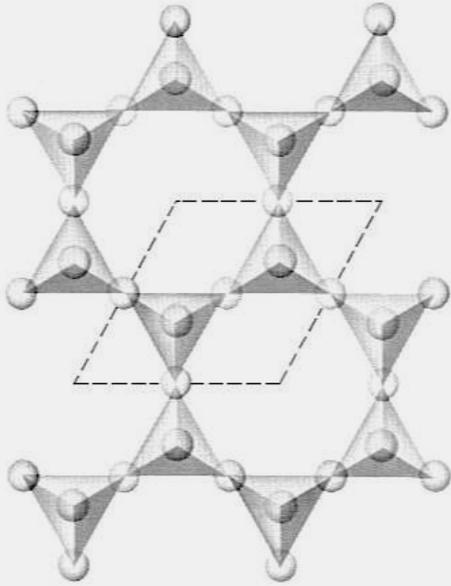
Caratteristiche:

cabito prismatico allungato;

Colori: bianco (tremolite), da verde a nero (actinolite, orneblenda), blu scuro (glaucofane);

presenza di sfaldature





Foglio
tetraedrico

5 .Fillosilicati

Silicati con gruppi tetraedrici SiO_4 collegati tra loro (condivisione di tre ossigeni) a formare uno strato piano esteso indefinitamente (dal greco *phyllon* = foglia)

Minerali importanti: **serpentino**
minerali argillosi, miche

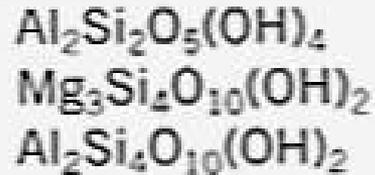


Antigorite
Chrysotile
Lizardite



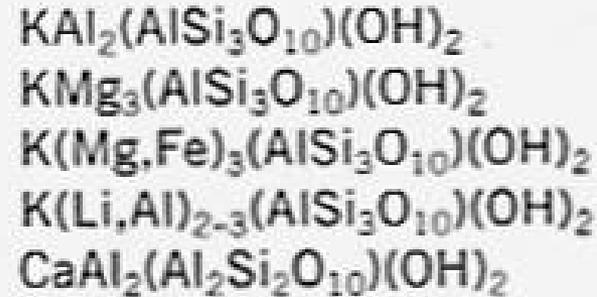
**Gruppo del
serpentino**

Kaolinite
Talc
Pyrophyllite



**Gruppo dei
minerali argillosi**

Muscovite
Phlogopite
Biotite
Lepidolite
Margarite



Gruppo delle miche

Chlorite



**Minerale
argilloso**

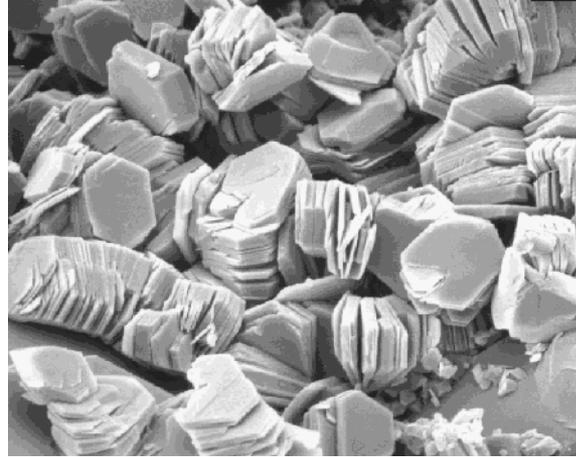
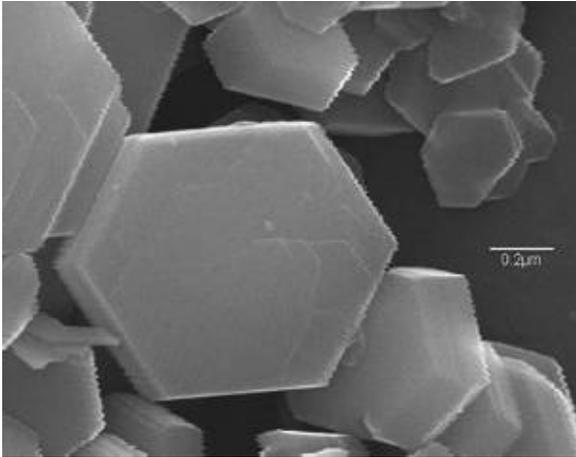
Antigorite



Crisotilo



serpentino



**Minerali
argillosi**

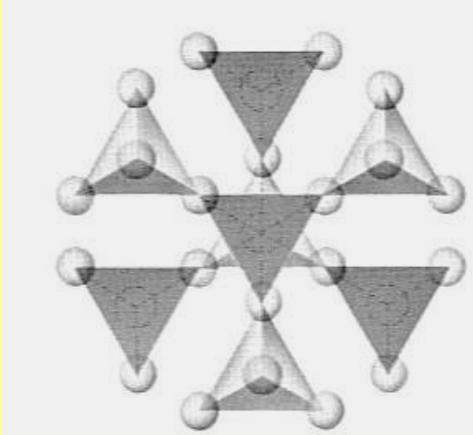
Muscovite



Biotite



Miche



Impalcatura
tridimensionale

6 Tectosilicati

Silicati con gruppi tetraedrici SiO_4 collegati tra loro a formare una impalcatura tridimensionale (condivisione di tutti gli ossigeni)

Minerali importanti: quarzo, feldspati, feldspatoidi

Gruppo della silice comprende il quarzo e le sue fasi polimorfe

Feldspati comprendono i feldspati alcalini e i plagioclasati

Feldspatoidi

Quarzo

La varietà pura è incolore, ma la presenza di ioni estranei può produrre i colori più svariati.

È uno dei minerali più comuni della crosta terrestre (12% in volume).

È presente in rocce magmatiche (plutoniche, es. graniti, granodioriti, tonaliti, e vulcaniche, es. daciti, rioliti), in rocce metamorfiche ed in rocce sedimentarie (sia come minerale detritico, sia come cemento in rocce consolidate).



Quarzo ialino



Quarzo ametista



Quarzo rutilato

Gruppo dei feldspati

I feldspati costituiscono il gruppo più importante dei minerali costituenti le rocce. Formano circa il 60% della crosta terrestre e possono essere presenti in tutti i tipi di rocce magmatiche, metamorfiche e sedimentarie clastiche.

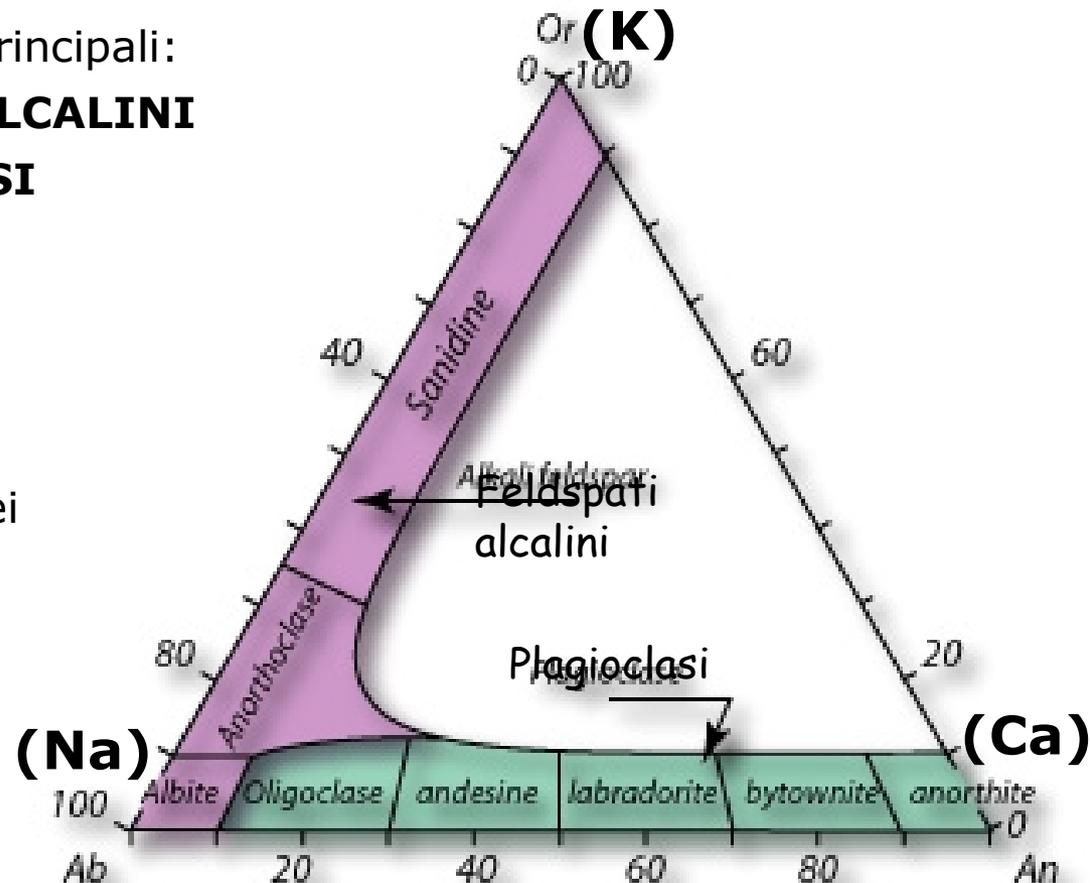
Classificazione dei feldspati

Si possono distinguere due serie principali:

Feldspati a K-Na, o **FELDSPATI ALCALINI**

Feldspati a Na-Ca, o **PLAGIOCLASI**

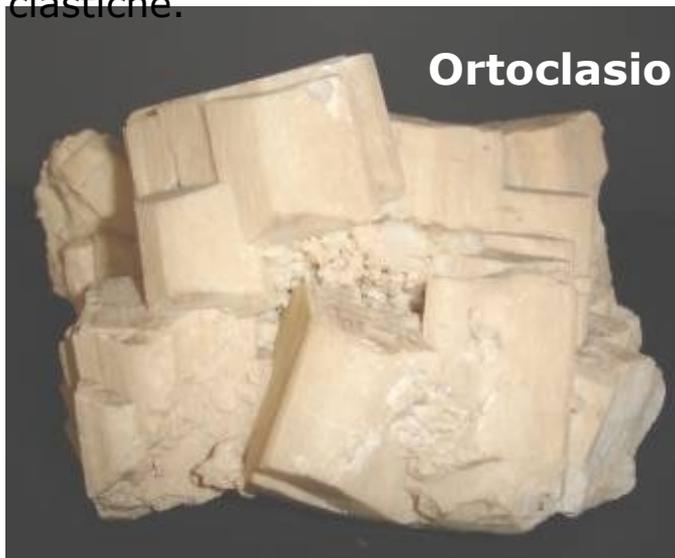
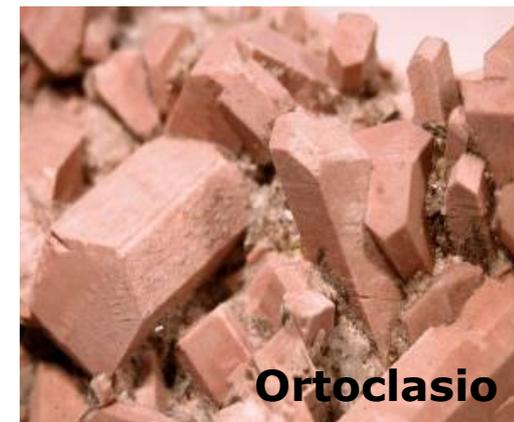
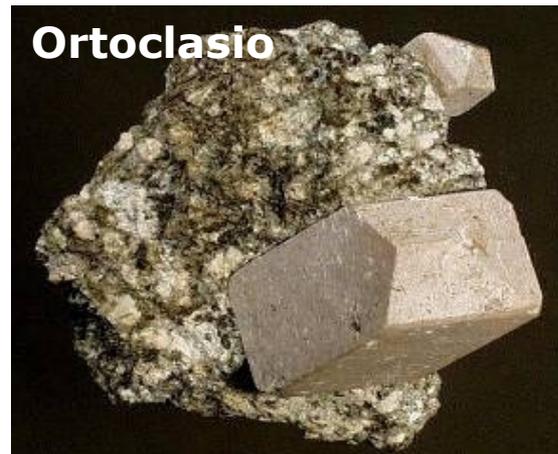
Le relazioni esistenti tra le prime due serie sono descritte in un diagramma ternario che mostra i campi di miscibilità ad alta temperatura e la nomenclatura dei vari termini composizionali.



Feldspato potassico

Sanidino (di alta T) cristallizza in individui prismatici tabulari, spesso geminati. Solitamente biancastro, può anche formare cristalli incolori e trasparenti. Tipico di rocce magmatiche effusive.

Ortoclasio (T intermedia) forma cristalli prismatici colonnari o tabulari, frequentemente geminati. Solitamente incolore o bianco, può anche essere giallino, rosato, o grigio. Componente essenziale di rocce magmatiche intrusive (graniti, sieniti, monzoniti), metamorfiche (gneiss, migmatiti) e di alcune rocce sedimentarie clastiche.



Microclino (bassa T) forma cristalli prismatici spesso geminati; colore bianco, rosa, rosso, giallastro. Tipico di pegmatiti granitiche e rocce metamorfiche (gneiss).



Plagioclasi

Cristalli prismatici tabulari, spesso geminati. Possono essere incolore, bianchi, giallastri e talora anche rosa o violacei. Le proprietà fisiche variano al variare della composizione (contenuto in Ca). Tipico di rocce magmatiche (plutoniche e vulcaniche); presente anche in rocce metamorfiche e sedimentarie.



Albite



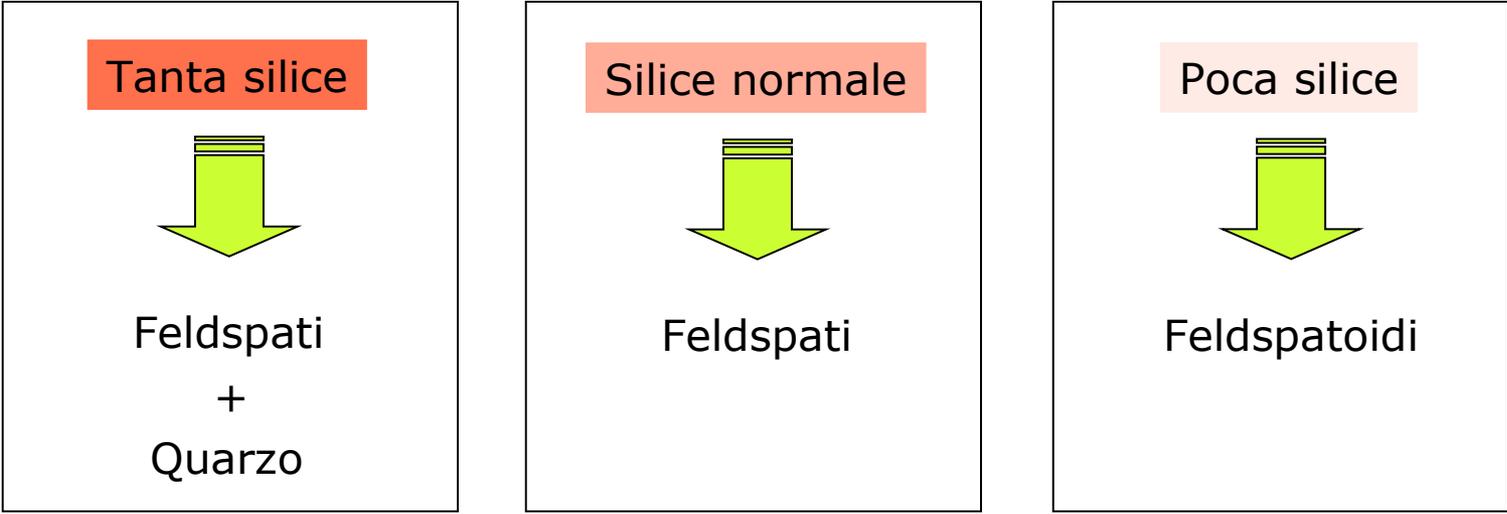
Bytownite



Anortite

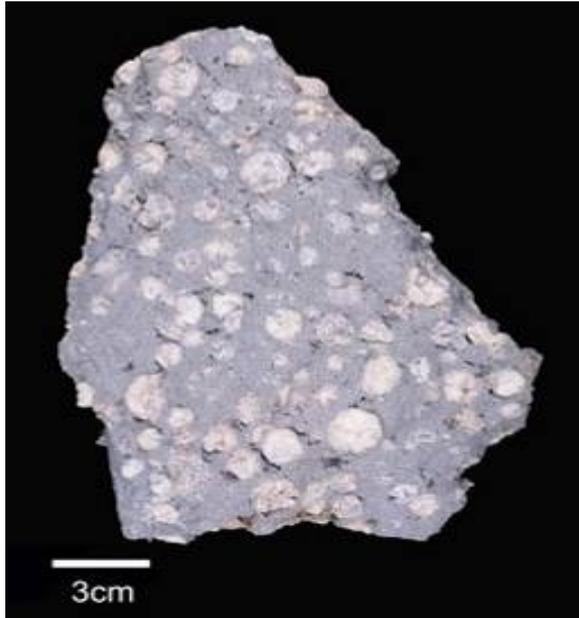
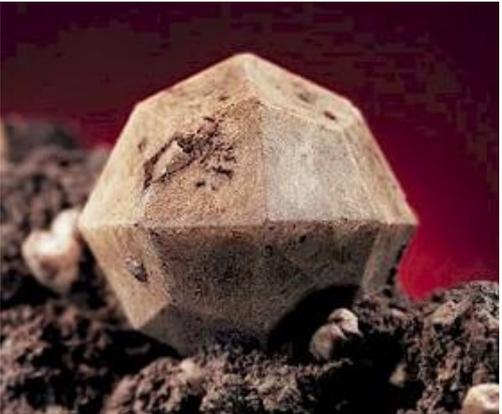
Gruppo dei feldspatoidi

I feldspatoidi sono un gruppo di minerali comprendente diverse serie di allumosilicati di sodio, potassio e calcio che hanno, rispetto ai corrispondenti feldspati, un minor contenuto in silice per la povertà di questa nei magmi di provenienza.



Molto meno diffusi dei feldspati, i feldspatoidi comprendono due serie principali (**leucite** e **nefelina**, a diverso rapporto Si/Al) e due serie minori (canclinite e sodalite).

Leucite $K(AlSi_2O_6)$ tipica forma tondeggiante. Colore biancastro, raramente incolore e trasparente o rosato. Tipica di rocce laviche sottosature in silice.



I carbonati

Comprendono la calcite (CaCO_3), la magnesite (MgCO_3), la siderite (FeCO_3), la dolomite [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]. La calcite è il principale costituente delle rocce sedimentarie carbonatiche e dei marmi. La struttura di base dei carbonati consiste in uno ione carbonato (CO_3)²⁻ circondato da 3 atomi di ossigeno. I gruppi di ioni carbonato sono disposti e strati alternati a strati di cationi (Ca nella calcite, Mg nella magnesite, Ca ed Mg nella dolomite).



Calcite: il minerale puro è incolore e limpido, ma per lo più è biancastro, appena traslucido, e talora debolmente colorato per impurezz. Reagisce con acidi diluiti.



Magnesite: bianca, grigia, gialla o bruna e lucentezza vitrea; è incolore o biancastra, ma assume toni gialli o bruni se contiene Fe o Mn.



La dolomite è un minerale diffuso che si trova principalmente nei calcari dolomitici, o dolomie.

I cristalli sono di solito incolore, bianchi o rosa, ma anche bruni, neri o verdi, a seconda delle impurità presenti. Reagisce con acido solforico

Ossidi

In questi minerali l'ossigeno è legato ad atomi o cationi di altri elementi, di solito metalli come il Fe. Sono minerali economicamente importanti per l'estrazione di Fe, Cr, Ti. Tra i più diffusi sono la magnetite (Fe_3O_4), lo spinello (MgAl_2O_4), l'ematite (Fe_2O_3), il rutilo (TiO_2).



Corindone (Al_2O_3),



Rosso = rubino



Blu = zaffiro

Solfuri

Composti dello zolfo (ione solfuro S^{2-}) con elementi metallici. Minerale più comune: pirite (FeS_2).



Solfati

Composti dello zolfo costituiti dallo ione solfato SO_4^{2-} . Minerali più comuni: anidrite (CaSO_4), gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), barite (BaSO_4).



Proprietà fisiche dei minerali

Alcune proprietà fisiche dei minerali possono essere determinate a occhio nudo o con una lente a basso ingrandimento (10x) e con l'ausilio di strumenti di campagna quali una punta d'acciaio e HCl diluito:

1) abito e forma cristallina; 2) lucentezza/splendore; 3) trasparenza, opacità; 4) colore; 5) durezza approssimativa; 6) frattura e/o sfaldatura; 7) reattività con HCl

Altre proprietà, per essere determinate richiedono strumenti di misura:

1) Durezza; 2) peso specifico; 3) Proprietà magnetiche, ottiche, elastiche, elettriche; 4) piezoelettricità

Abito e forma

Forma **prismatica** o **colonnare** cristalli allungati con facce simili e parallele ad una direzione comune (es. quarzo, pirosseno)

Forma **fibrosa**: cristalli fortemente allungati con un elevato rapporto lunghezza/diametro (es. crisotilo, crocidolite, erionite)



Forma **lamellare, micacea**: cristalli fortemente appiattiti e sottili, caratteristici dei minerali del gruppo delle miche (es. muscovite, biotite)



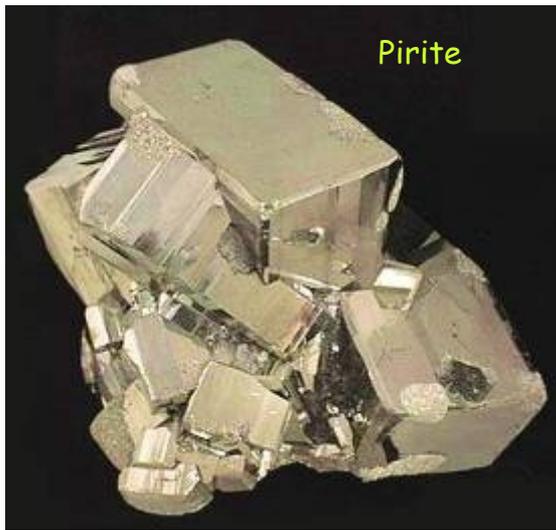
Forma **dendritica**: cristalli che mostrano una crescita con diramazioni successive e formano aggregati ramificati e sottili (es. argento, pirolusite, manganese, aragonite)



Con il termine lucentezza (o splendore) si intende l'aspetto che assume la superficie di un minerale quando viene illuminata dalla luce. In generale, i tipi di lucentezza osservabili sono **metallica e non metallica**.

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

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



Metallica (pirite, spinello)



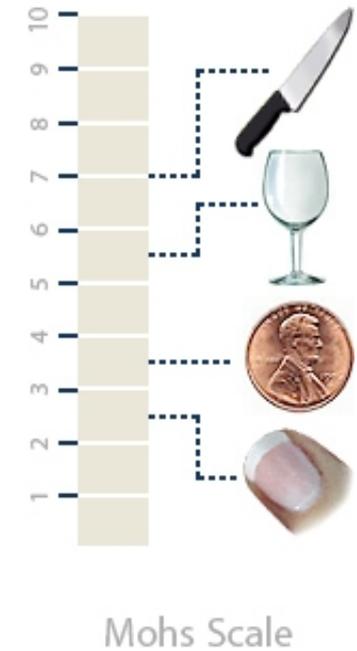
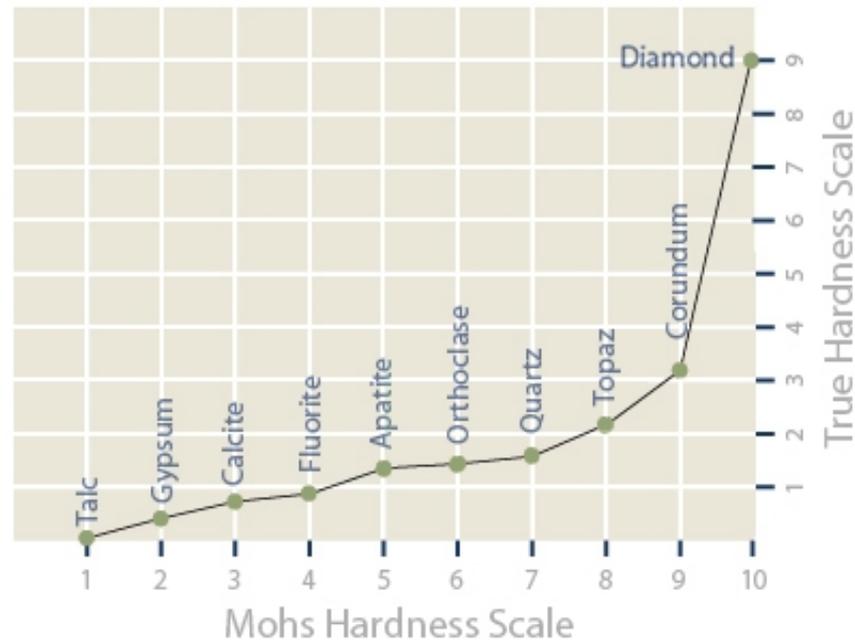
Micacea (miche)



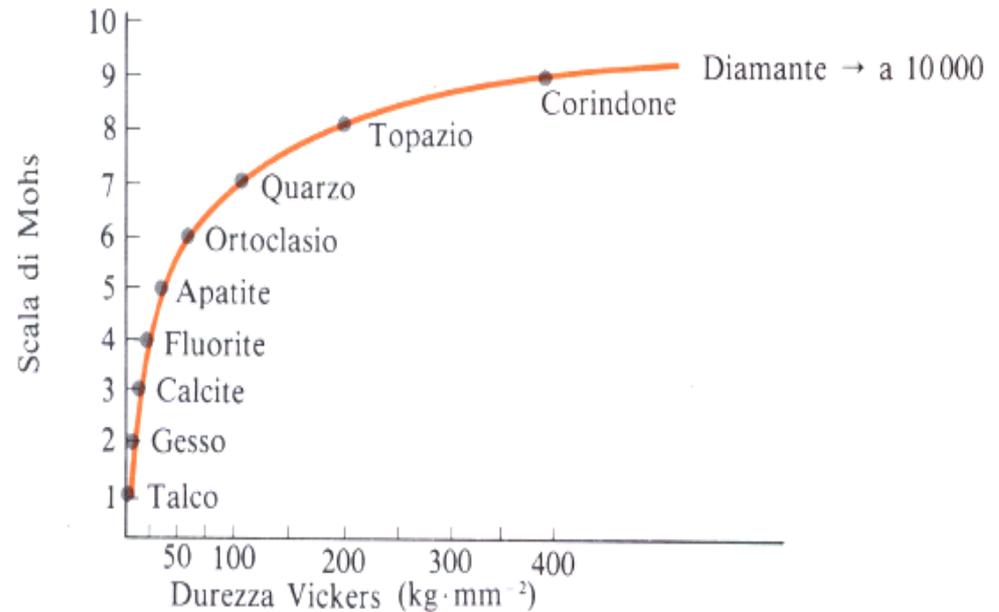
Vitrea (quarzo, feldspati, carbonati)

Durezza

Scala qualitativa della durezza è quella di Mohs. Quella di Mohs è una scala relativa: attribuire al quarzo durezza 7 non implica che è 7 volte più duro del talco.



La durezza viene misurata con tecniche che permettono di costruire quantitativamente una scala assoluta di durezza.

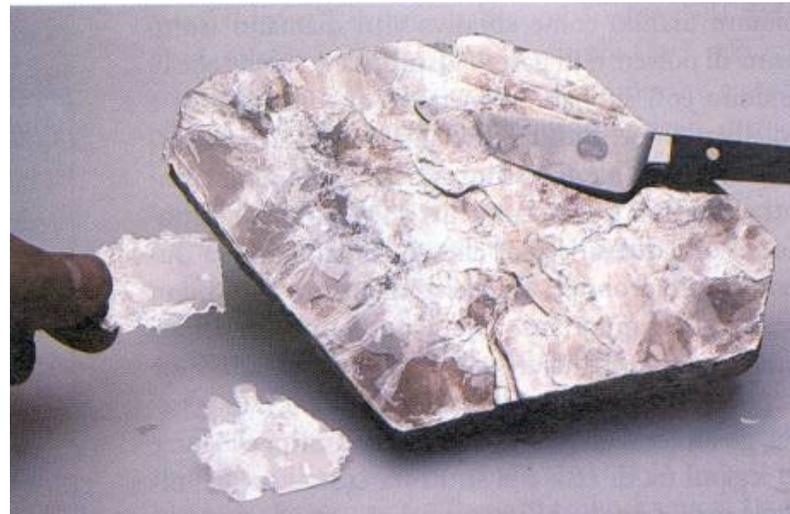


Sfaldatura

La sfaldatura è la tendenza che hanno alcuni minerali a rompersi lungo superfici parallele a piani cristallografici. La sfaldatura è una conseguenza diretta della struttura interna poiché entro certe strutture la forza di legame chimico è diversa nelle differenti direzioni. La sfaldatura (cioè la separazione in piani) avviene tra piani in cui i legami chimici sono più deboli, ovvero le distanze di legame più lunghe e la densità di legami più bassa. E' una proprietà discontinua.

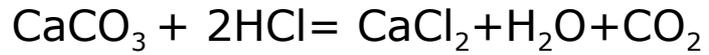


Sfaldatura
in calcite



Solubilità in HCl

I carbonati sono solubili in HCl e rilasciano CO₂ secondo la reazione



calcite reagisce anche a freddo, mentre gli altri carbonati solo a caldo

La

