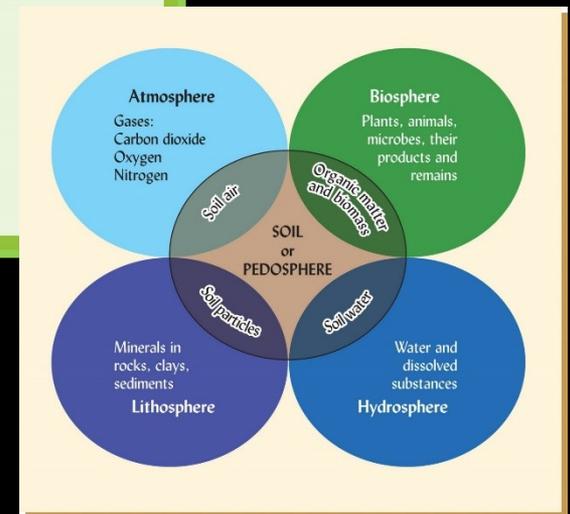
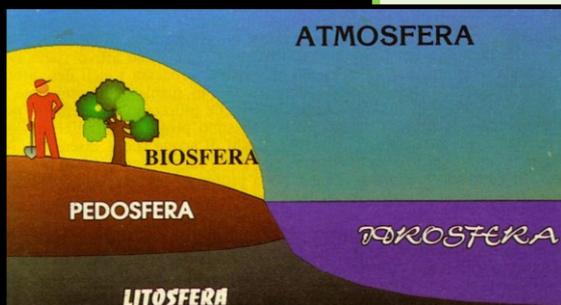
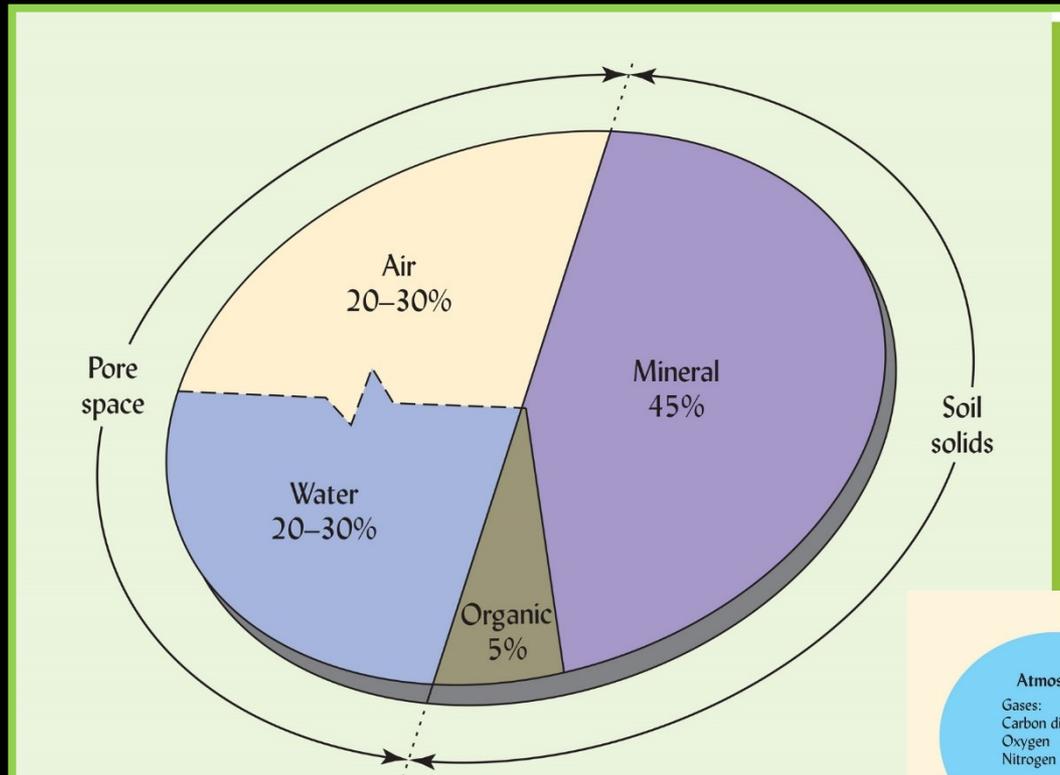


I componenti minerali della fase solida del suolo.

I non silicati. I silicati. I fillosilicati.

Il suolo è un sistema tridimensionale, polifasico, eterogeneo, dinamico e biologicamente attivo



Struttura e composizione interna della Terra

Il pianeta Terra risulta formato da strati concentrici di materiali diversi.

Lo strato più esterno, gassoso, composto essenzialmente di azoto e ossigeno, costituisce l'atmosfera.

Lo strato successivo, liquido, copre in modo non continuo, con gli oceani, i mari, i laghi e i fiumi, i 7/10 della superficie terrestre.

Lo strato solido è definito da una parte superficiale, la **crosta**, a cui fanno seguito il **mantello** e il **nucleo**.

Ipotesi e congetture sono state fatte sulla composizione delle diverse parti di cui è costituita la Terra.

La crosta è costituita, prevalentemente da Al-, Fe-, Mg-, K-, Na-silicati e silice [SiO₂].

Il mantello è composto da Mg-silicati, Fe metallico e da Fe-solfuri.

Struttura e composizione interna della Terra

Il nucleo, con molta probabilità, è formato da Fe, e da quantità poco elevate di Ni, S, Si, Mg.

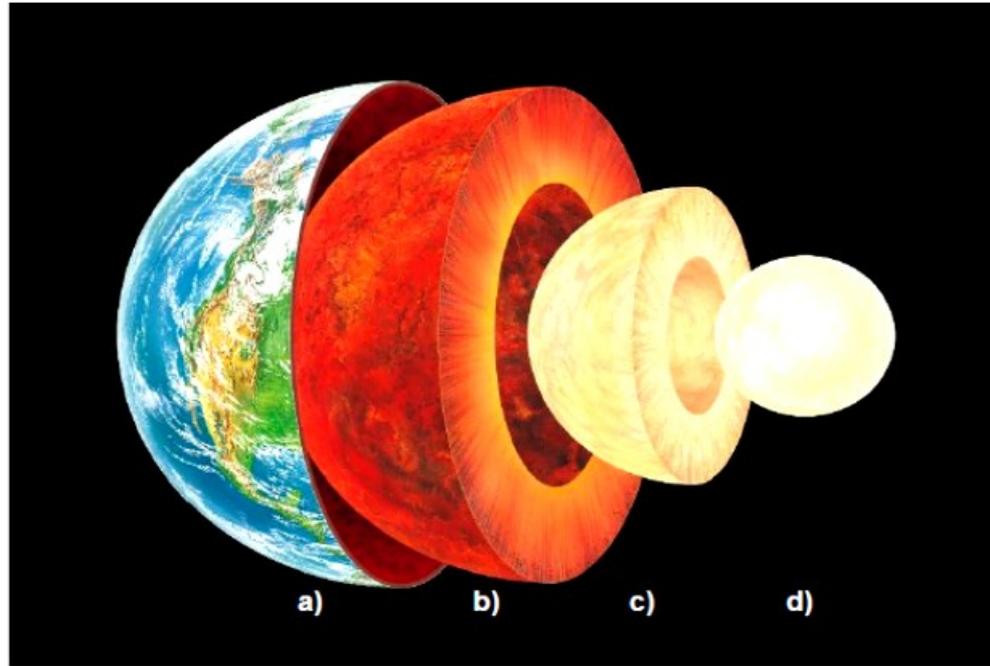
La parte esterna del nucleo esisterebbe in fase liquida, la parte più interna in fase solida.

La crosta costituisce lo strato sottile di rocce meno dense di quelle che caratterizzano il mantello sottostante dal quale si è formata per processi complessi nel corso di molti milioni di anni.

Si accertano due tipi di crosta: la **continentale** e l'**oceanica** che differiscono notevolmente tra loro per lo spessore, per i caratteri fisici, per la composizione chimica e per la complessità della struttura.

Il suolo costituisce la parte più superficiale della crosta continentale.

Struttura e composizione interna della Terra



a) crosta

- granitica (continentale) 35 km
- basaltica (oceanica) 6 km

b) mantello

- peridotite 2900 km peridotite 2900 km

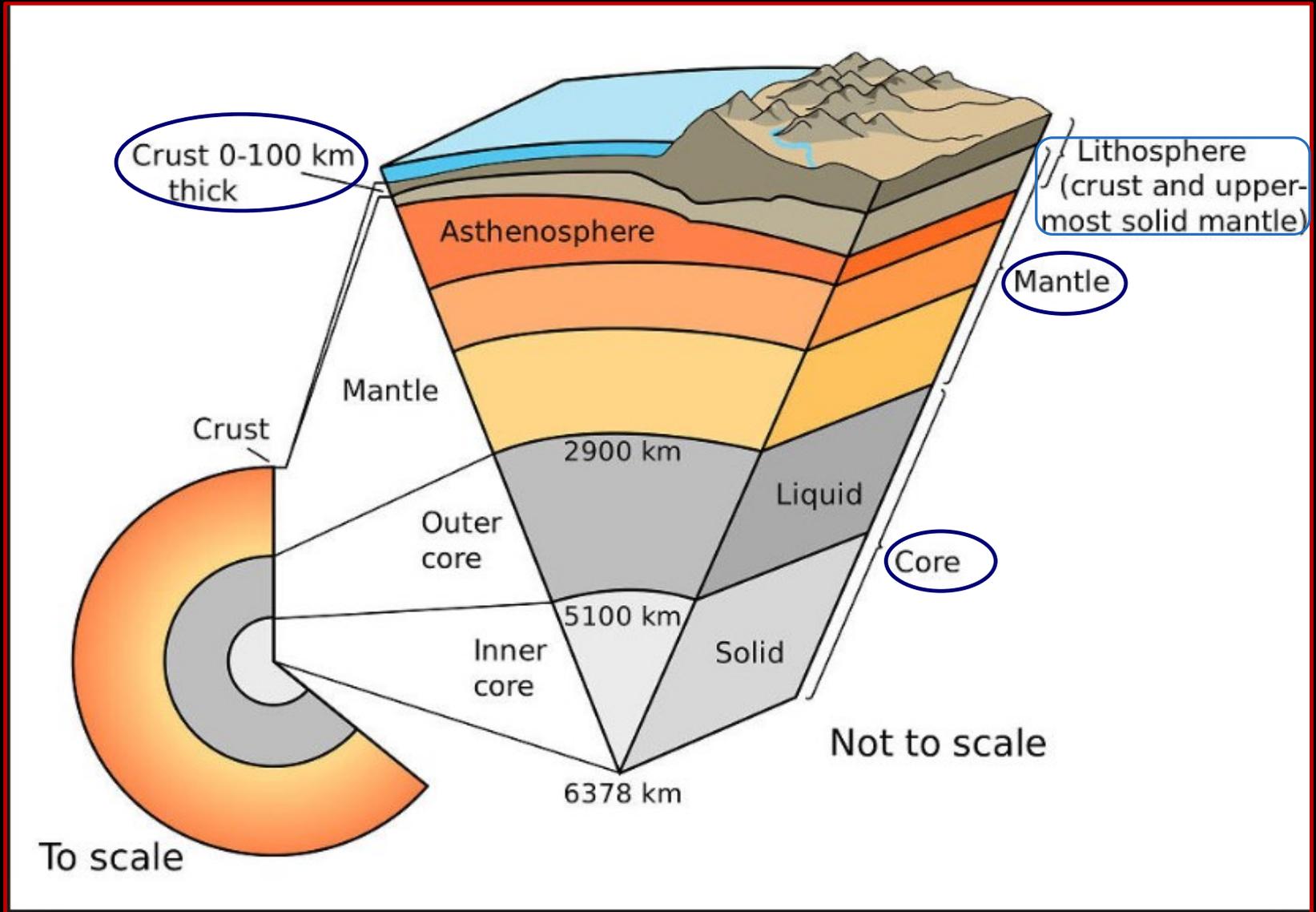
c) nucleo esterno

- ferro (liquido) 2000 km

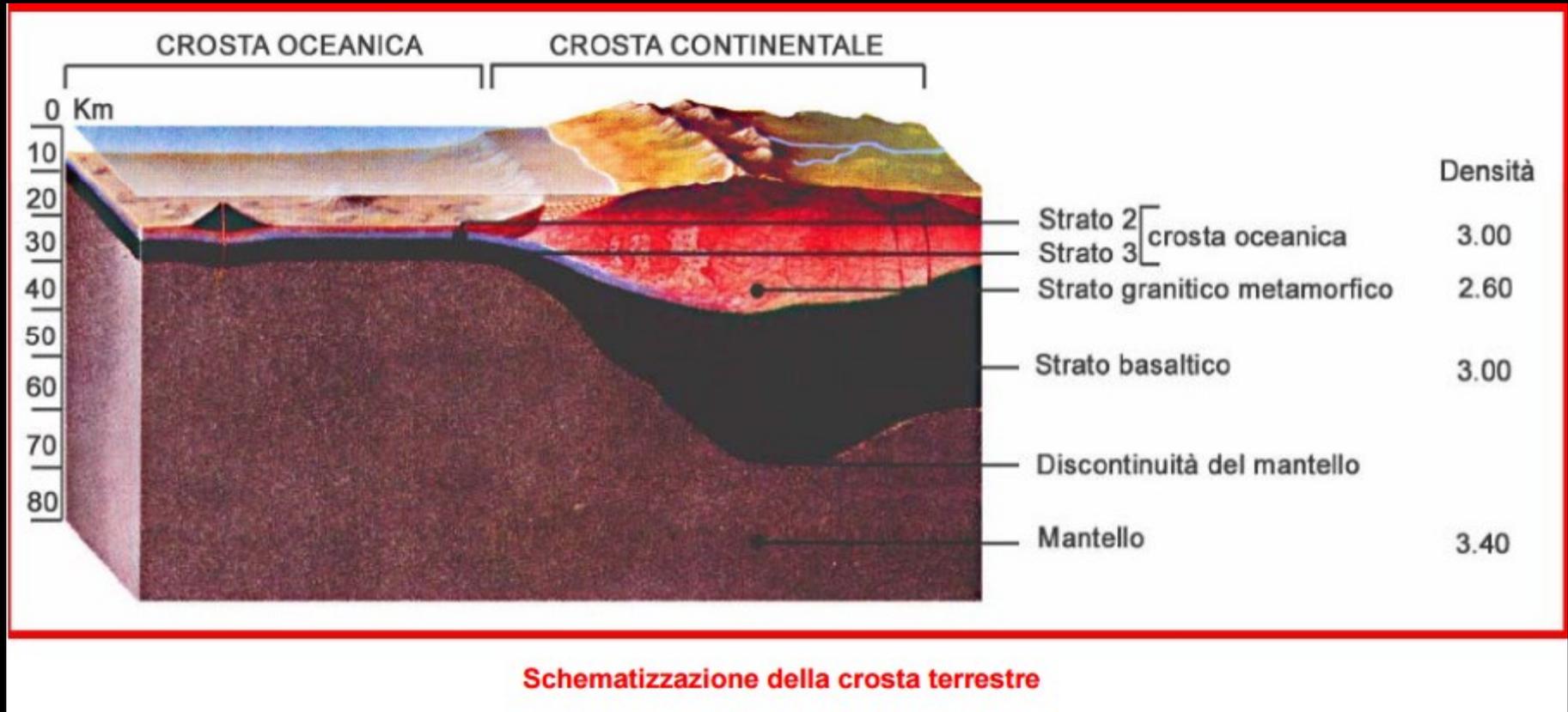
d) nucleo interno

- ferro (solido) 1370 km

Struttura e composizione interna della Terra



La crosta terrestre



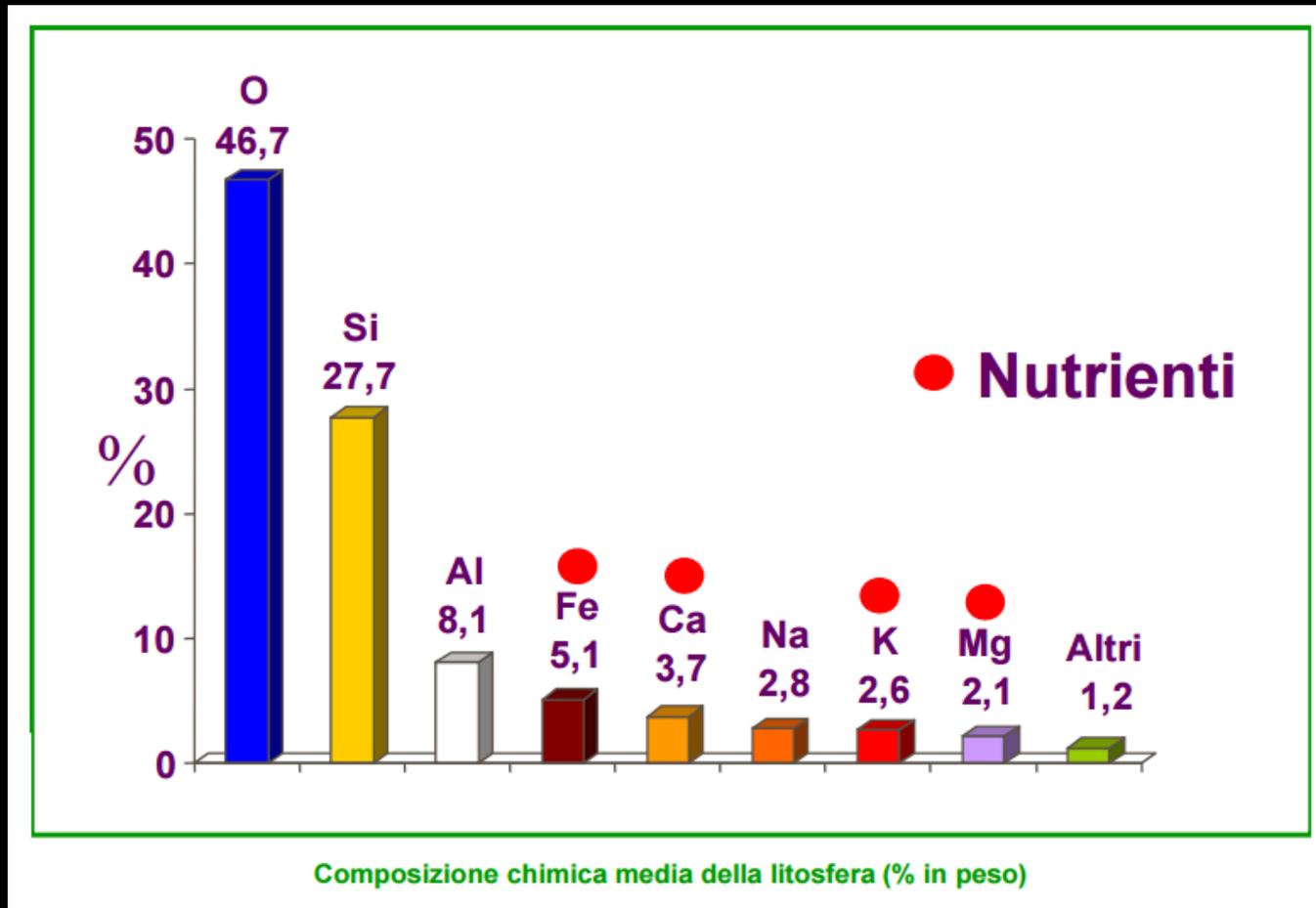
Crosta oceanica: $3.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 200 milioni di anni, 5-10 km
Crosta continentale: $2.7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 3600-2800 milioni di anni, 60-70 km

La composizione della litosfera

Per la comprensione dei processi di formazione del suolo, definiti da numerose e complesse reazioni di trasformazione dei materiali litici esposti all'azione di agenti atmosferici e biologici, risulta di importanza fondamentale la conoscenza dei caratteri e della composizione della litosfera.

I corpi rocciosi rappresentativi dello strato superficiale della crosta terrestre sono costituiti da 8 elementi chimici, presenti in quantità in peso più elevata dell'1%. Di questi, solamente 4 (Fe, Ca, K, Mg) sono necessari per la nutrizione delle piante. Gli elementi che si rinvencono in percentuale maggiore formano oltre 2000 specie mineralogiche, delle quali una dozzina si rinvencono con frequenza nelle rocce più comuni.

La componente inorganica del suolo



I corpi rocciosi rappresentativi dallo strato superficiale della crosta terrestre sono costituiti da otto elementi chimici presenti in quantità in peso più elevata dell'1%

I minerali che costituiscono le rocce

Sono definiti minerali le sostanze inorganiche, presenti nella litosfera, caratterizzate da composizione chimica costante, o variabile entro limiti ristretti, da proprietà fisiche specifiche e da peculiare struttura cristallina con disposizione ordinata, tridimensionale di atomi, ioni o molecole.

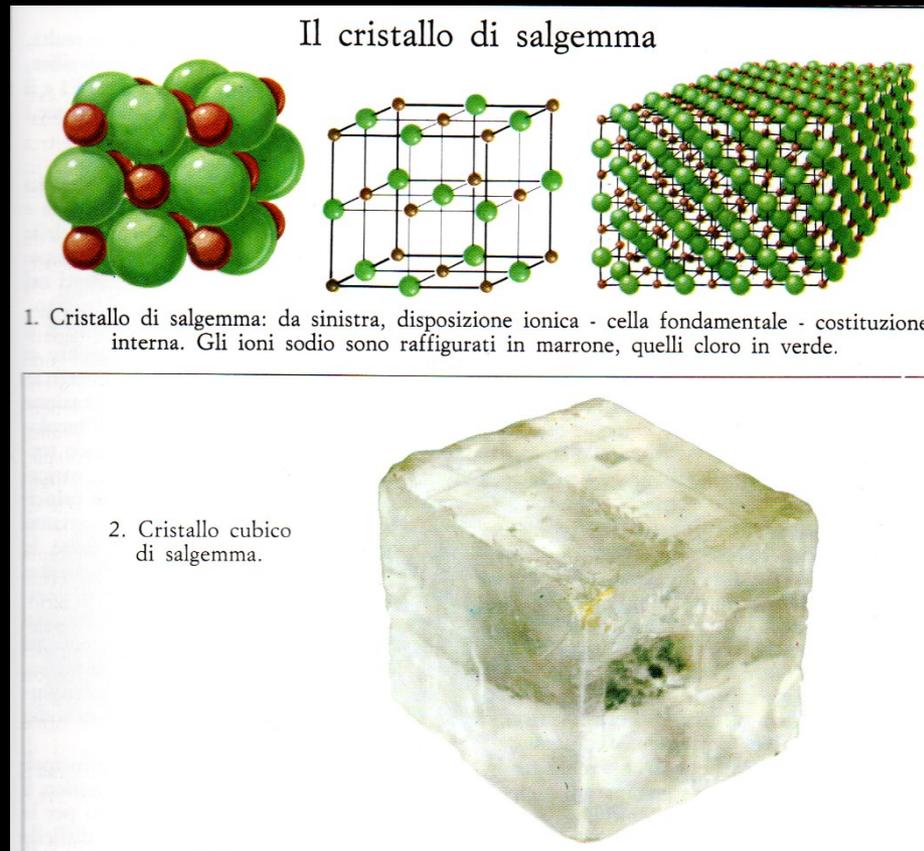
Vengono detti minerali **primari** quelli che si formano durante la solidificazione delle masse magmatiche fuse, **secondari** quelli originatisi per cristallizzazione successiva a processi di alterazione.

Dal punto di vista chimico si suddividono in due gruppi:

- *i silicati*, costituiti prevalentemente da ossigeno e silicio
- *i non silicati*, comprendenti ossidi, carbonati, fosfati, solfati, solfuri di alcuni elementi.

L'unità di aggregazione elementare dei minerali è il cristallo

Un *cristallo* può definirsi come una struttura all'interno della quale un insieme di ioni, o atomi, o molecole, è disposto secondo sequenze ripetitive ordinate caratterizzate da distanze fisse, a , b , c , ed angolature fisse, α , β , γ , lungo le tre direzioni dello spazio (*reticolo cristallino*).



Il legame chimico, la carica ionica ed il raggio ionico nei minerali

Nella maggior parte delle entità cristalline i possibili tipi di **legame**, diversi in funzione della configurazione elettronica degli atomi che si combinano, non risultano nettamente differenziati. Generalmente gli elementi presenti sono tenuti insieme da legami **in parte ionici e in parte covalenti**.

La partecipazione proporzionale di ciascuno dei due legami a particolari associazioni di ioni dipende dalla natura dei cationi e degli anioni coinvolti o, più precisamente, dall'elettronegatività di questi. Il legame **Si-O** è quasi equamente ripartito tra legame ionico e legame covalente; il legame **Al-O** è per ~40% covalente e per ~60% ionico.

La **carica** è quella risultante dal trasferimento (o dalla polarizzazione) degli elettroni di legame.

Il **raggio ionico** esprime la dimensione radiale di una specie atomica considerata approssimativamente sferica. Rispetto al proprio atomo neutro è *minore* nei cationi (Al^{3+} 0.051 nm, Si^{4+} 0.042 nm) e *maggiore* negli anioni (O^{2-} 0.132 nm).

La componente inorganica del suolo

I minerali non silicati

- ✓ **Carbonati**: calcite, aragonite, dolomite, carbonato di sodio
- ✓ **Solfati**: solfato di calcio (gesso), anidrite
- ✓ **Solfuri**: pirite (FeS_2), galena (PbS), blenda (ZnS), calcocite (Cu_2S), cinabro (HgS)
- ✓ **Fosfati**: apatiti (Ca), variscite (Al), strengite (Fe)
- ✓ **Alogenuri e nitrati**: salgemma (NaCl), silvite (KCl), fluorite (CaF_2), nitrato sodico (NaNO_3)
- ✓ **Minerali costituiti da un solo elemento**: grafite (C), zolfo (S)
- ✓ **Ossidi (anidri o idrati) di**: SiO_2 (quarzo), Al_2O_3 (corindone), Fe_2O_3 (ematite), MnO_2 (pirolusite), TiO_2 (rutilo e anatasio)

I non silicati

I carbonati

Sono costituenti fondamentali di numerose rocce. Il carbonato di calcio $[\text{CaCO}_3]$ cristallizza come *calcite* e *aragonite*.

La *dolomite*, carbonato doppio di calcio e magnesio $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$, ha minore diffusione e presenta ridotta solubilità.

Cationi con raggio ionico inferiori a quello di Ca^{2+} (0,099 nm), come Mg^{2+} (0,066 nm), Zn^{2+} (0,074 nm), Fe^{2+} (0,074 nm), Mn^{2+} (0,080 nm), costituiscono carbonati con struttura tipo calcite noti, rispettivamente, come *magnesite*, *smithsonite*, *siderite*, *rodocrocite*; quelli con raggio ionico superiore, come Sr^{2+} (0,113), Pb^{2+} (0,120) e Ba^{2+} (0,134), formano carbonati con struttura tipo aragonite e cristallizzano come *stronzianite*, *cerussite*, *witherite*.



I non silicati

I solfati

Ampiamente diffuso nelle rocce sedimentarie di origine marina è il calcio solfato o **gesso** $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$.

Più rara risulta la forma anidra, **anidrite** $[\text{CaSO}_4]$.

I solfuri

La **pirite** $[\text{FeS}_2]$ è comunemente presente nelle rocce ignee, sedimentarie e metamorfiche. Si può trovare associata ad altri solfuri quali **galena** $[\text{PbS}]$ e **blenda** $[\text{ZnS}]$ o ai minerali di rame **calcocite** $[\text{Cu}_2\text{S}]$, **bornite** $[\text{Cu}_5\text{FeS}_4]$ e **calcopirite** $[\text{CuFeS}_2]$.

gesso



pirite



I non silicati

I fosfati

Le *apatiti* sono i più comuni minerali contenenti fosforo.

Costituiscono una serie isomorfa i cui termini estremi sono

la *fluoroapatite* $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2]$,

la *cloroapatite* $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2]$,

l'*idrossiapatite* $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$

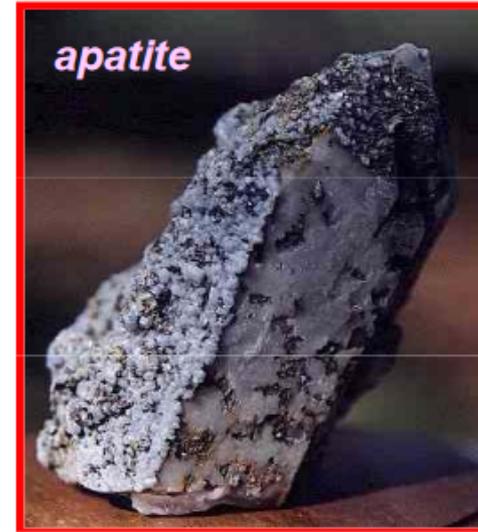
e le carbonatoapatiti $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{CO}_3)_x\text{F}_x\text{F}_2]$.

Le carbonatoapatiti vengono utilizzate per la preparazione industriale di concimi fosfatici o per l'applicazione diretta in agricoltura. La loro solubilità aumenta per contenuto crescente di CO_3^{2-} .

Variscite $[\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$, *wavellite* $[\text{Al}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$,

strengite $[\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ e *vivianite* $[\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ sono

minerali abbastanza rari.



I non silicati

Gli alogenuri

Il **salgemma** [NaCl], la **silvite** [KCl] e la **fluorite** [CaF₂] sono le entità mineralogiche più importanti.

Il salgemma si trova in rocce sedimentarie spesso in banchi di spessore notevole (>300 metri).

La silvite, associata al salgemma, si rinviene nei giacimenti evaporitici di Stassfurt in Sassonia e nelle fumarole dell'Etna e del Vesuvio.

La fluorite costituisce la ganga di filoni piombo argentiferi (Sassonia, Sardegna, Lombardia) o stanniferi (Cornovaglia).



I non silicati: gli ossidi e gli idrossidi

Diversamente da calcio, magnesio, potassio e sodio, che sono quasi sempre allontanati dall'ambiente di pedogenesi, generalmente in soluzione, ferro, alluminio, manganese e silicio evolvono verso forme insolubili, amorfe o cristalline, che ne limitano le perdite per lisciviazione.

Gli ossidi e gli idrossidi sono costituenti del suolo presenti in forme cristalline diverse, come particelle discrete o fissate sulle superfici di altre entità mineralogiche.

Influiscono sui processi di aggregazione, di cementazione, di flocculazione, sulla carica superficiale delle particelle colloidali, sulla reazione del suolo.

I non silicati: gli ossidi e gli idrossidi

Gli ossidi

Gli ossidi di alluminio **diaspro** [α AlOOH] e **corindone** [α Al₂O₃] sono presenti in molti tipi di roccia.

Gibbsite [γ Al(OH)₃] e **boehmite** [γ AlOOH] si accertano nelle formazioni sedimentarie e nei depositi bauxitici.

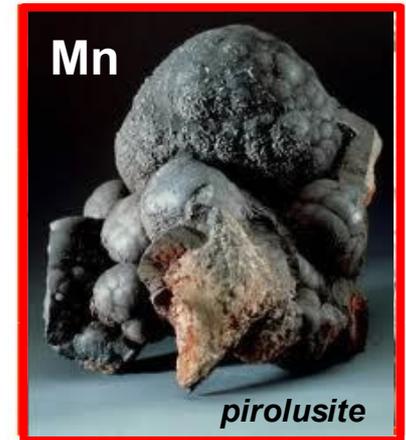
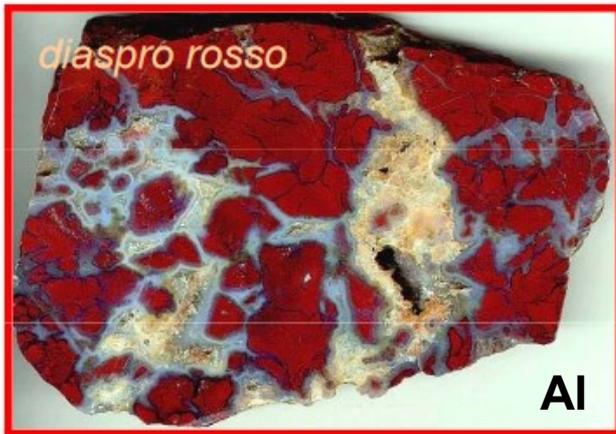
Ematite [γ Fe₂O₃], **goethite** [α FeOOH] sono gli ossidi di ferro più diffusi. La **magnetite** [Fe₂O₃] è presente nelle rocce ignee, sedimentarie e metamorfiche.

Il **quarzo** [SiO₂] è il solo ossido di silicio presente nelle rocce consolidate in profondità (per esempio, i graniti).

La **cristobalite**, polimorfo di SiO₂, formatosi a temperature elevate, si trova nelle rocce metamorfiche.

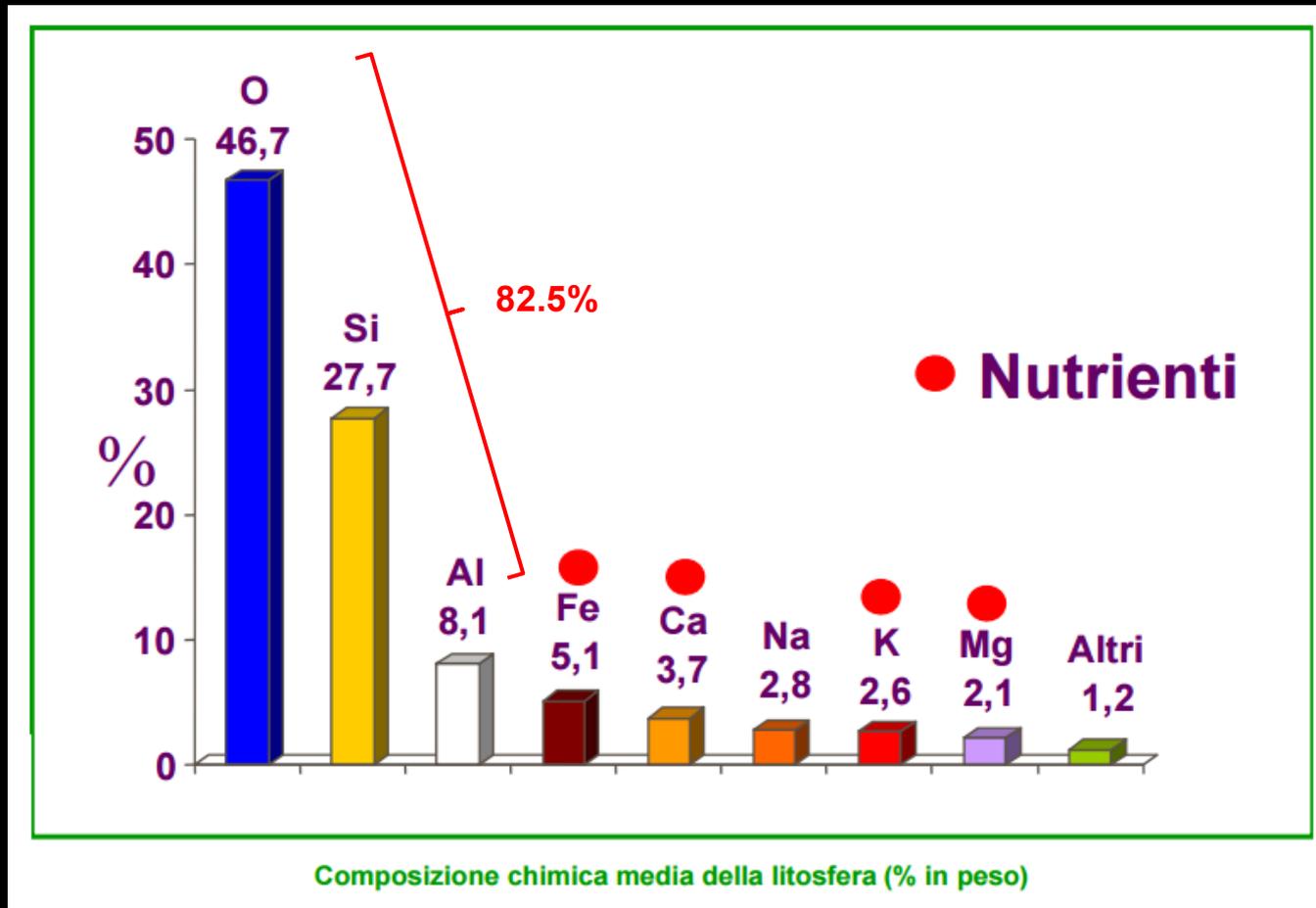
Dell'ossido di titanio [TiO₂] sono diffusi in natura le forme polimorfe **rutilo**, **brookite** e **anatasio**.

I non silicati: gli ossidi e gli idrossidi



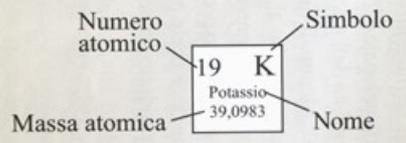
I minerali primario quarzo, ed ancor di più, rutilo ed anatasio sono fortemente resistenti all'alterazione pedogenetica e la loro presenza lungo il profilo è utilizzata come indicatore dei processi di formazione del suolo.

I silicati e gli alluminosilicati



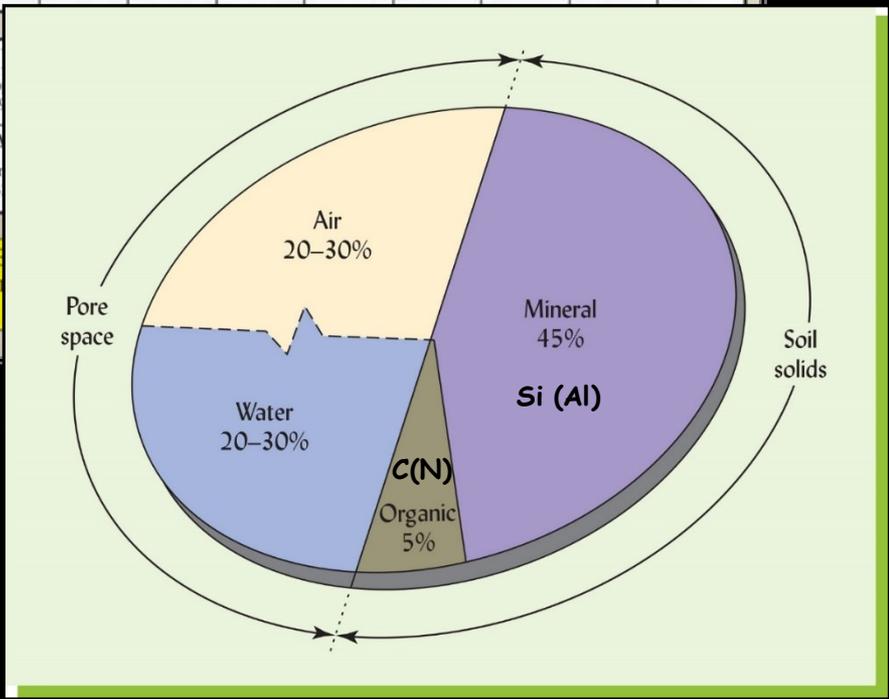
La maggior parte dei minerali della litosfera sono costituiti da elementi strutturali che prevedono la combinazione di O, Si e Al.

1 1 H Idrogeno 1,00794																	18 2 He Elio 4,002602
3 Li Litio 6,941	4 Be Berillio 9,012182											5 B Boro 10,811	6 C Carbonio 12,011	7 N Azoto 14,00674	8 O Ossigeno 15,9994	9 F Fluoro 18,998403	10 Ne Neon 20,1797
11 Na Sodio 22,989768	12 Mg Magnesio 24,3050											13 Al Alluminio 26,981539	14 Si Silicio 28,0855	15 P Fosforo 30,973762	16 S Zolfo 32,066	17 Cl Cloro 35,4527	18 Ar Argo 39,948
19 K Potassio 39,0983	20 Ca Calcio 40,078	21 Sc Scandio 44,955910	22 Ti Titanio 47,867	23 V Vanadio 50,9415	24 Cr Cromo 51,9961	25 Mn Manganese 54,93805	26 Fe Ferro 55,845	27 Co Cobalto 58,93320	28 Ni Nichel 58,6934	29 Cu Rame 63,546	30 Zn Zinco 65,39	31 Ga Gallio 69,723	32 Ge Germanio 72,61	33 As Arsenico 74,92159	34 Se Selenio 78,96	35 Br Bromo 79,904	36 Kr Cripto 83,80
37 Rb Rubidio 85,4678	38 Sr Stronzio 87,62	39 Y Ittrio 88,90585	40 Zr Zirconio 91,224	41 Nb Niobio 92,90638	42 Mo Molibdeno 95,94	43 Tc Tecnezio [98]	44 Ru Rutenio 101,07	45 Rh Rodio 102,90550	46 Pd Palladio 106,42	47 Ag Argento 107,8682	48 Cd Cadmio 112,411	49 In Indio 114,818	50 Sn Stagno 118,710	51 Sb Antimonio 121,760	52 Te Tellurio 127,60	53 I Iodio 126,90447	54 Xe Xeno 131,29
55 Cs Cesio 132,90543	56 Ba Bario 137,327	†	72 Hf Afnio 178,49	73 Ta Tantalio 180,9479	74 W Tungsteno 183,84	75 Re Renio 186,207	76 Os Osmio 190,23	77 Ir Iridio 192,217	78 Pt Platino 195,08	79 Au Oro 196,96654	80 Hg Mercurio 200,59	81 Tl Tallio 204,3833	82 Pb Piombo 207,2	83 Bi Bismuto 208,98037	84 Po Polonio [209]	85 At Astatio [210]	86 Rn Radon [222]
87 Fr Francio [223]	88 Ra Radio [226]	‡	104 Rf Rutherfordio [267]	105 Db Dubnio [268]	106 Sg Seaborgio [271]	107 Bh Bohrio [272]	108 Hs Hassio [270]	109 Mt Meitnerio [276]	110 Ds Darmstazio [281]	111 Rg Roentgenio [280]	112 Cp Copernicio [285]	113 Uut Ununtrio [284]	114 Uuq Ununquadio [289]	115 Uup Ununpentio [288]	116 Uuh Ununhexio [293]	117 Uus Ununseptio [?]	118 Uuo Ununoctio [294]



† Lantanidi	57 La Lantanio 138,9055	58 Ce Cerio 140,115	59 Pr Prasodimio 140,90765	60 Nd Neodimio 144,24	61 Pm Promezio [145]	62 Sm Samario 150,36	63 Eu Euro 151,96
‡ Attinidi	89 Ac Attinio [227]	90 Th Torio 232,0381	91 Pa Protoattinio 231,03588	92 U Uranio 238,0289	93 Np Nettunio [237]	94 Pu Plutonio [244]	95 Am Americio [243]

Elementi essenziali per i vegetali, assorbiti da aria e acqua	Elementi essenziali per i vegetali, assorbiti dal terreno	Elementi benefici, forse essenziali per i vegetali	
---	---	--	--



Le unità molecolari strutturali dei silicati e degli aluminosilicati

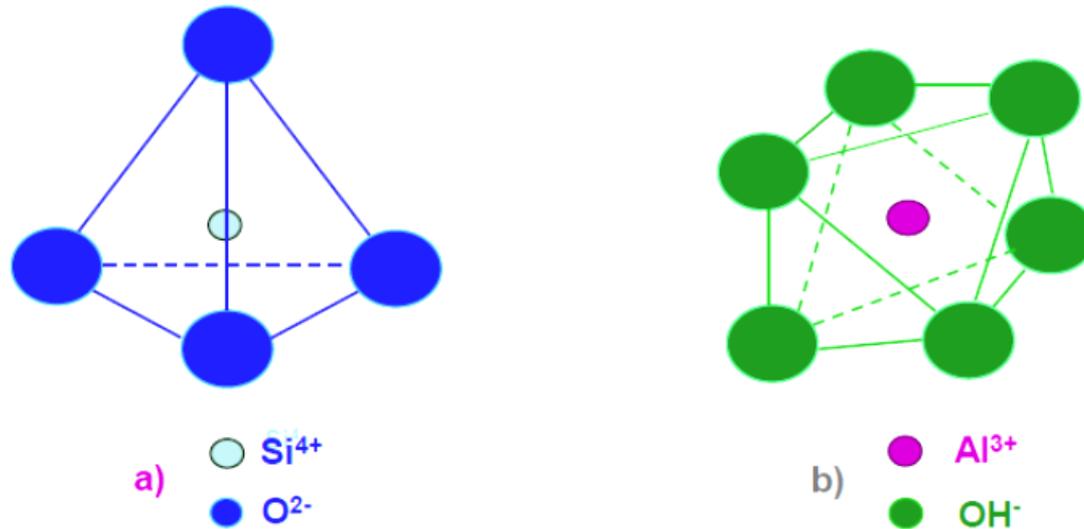
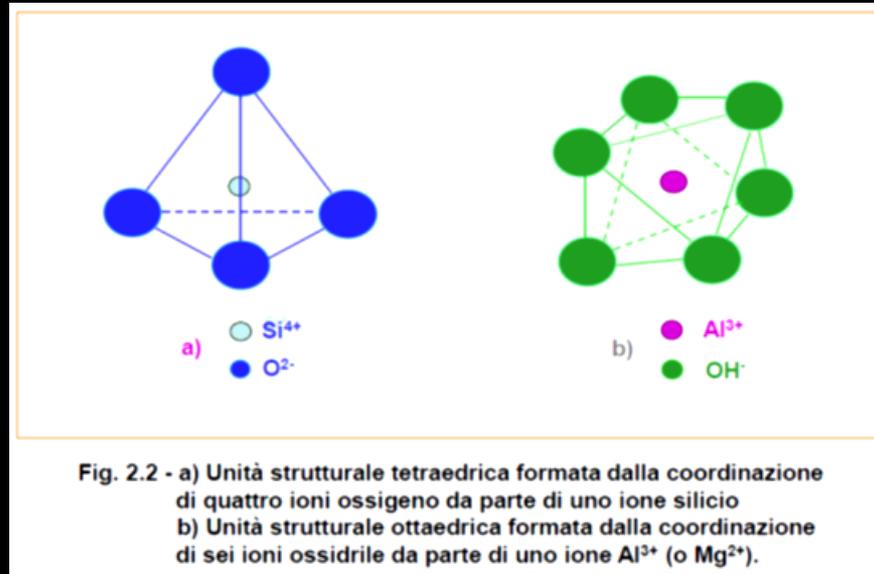


Fig. 2.2 - a) Unità strutturale tetraedrica formata dalla coordinazione di quattro ioni ossigeno da parte di uno ione silicio
b) Unità strutturale ottaedrica formata dalla coordinazione di sei ioni ossidrilici da parte di uno ione Al^{3+} (o Mg^{2+}).

Le unità molecolari strutturali dei silicati e degli alluminosilicati



L'unità strutturale fondamentale dei silicati è costituita dall'associazione di quattro ioni O^{2-} tra i quali trova posto uno ione Si^{4+} .

Il raggruppamento ionico definisce geometricamente un tetraedro regolare, con tre ioni O^{2-} disposti a formare la base, uno l'apice.

Negli alluminosilicati si accerta una seconda unità formata da sei ioni, O^{2-} o OH^- , disposti ai vertici di un ottaedro regolare, tra i quali può inserirsi uno ione Mg^{2+} , Fe^{2+} o Al^{3+} . Tre dei vertici giacciono in un piano, tre in un piano ad esso parallelo

La polimerizzazione di unità simili o diverse definisce l'organizzazione strutturale dei silicati.

Per la rappresentazione grafica dei tetraedri e degli ottaedri sono comunemente utilizzati tre tipi di modelli.

Ciascun modello descrive lo stesso concetto, ma consente di evidenziare differenti caratteristiche strutturali.

Il modello ad **impacchettamento di sfere** permette di individuare lo spazio occupato dagli ioni e risulta particolarmente utile per visualizzare la forma della superficie esterna di un minerale.

Il modello a **cerchi e segmenti**, anche se rende difficile l'individuazione dei tetraedri e degli ottaedri, mostra con chiarezza la parte interna dell'organizzazione strutturale.

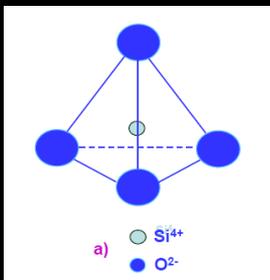
Il modello a **poliedri**, pur fornendo la migliore rappresentazione delle unità strutturali, dal momento che gli ioni sono considerati come punti nello spazio, può portare all'erronea impressione che la struttura cristallina sia eccessivamente aperta



Classificazione strutturale dei silicati

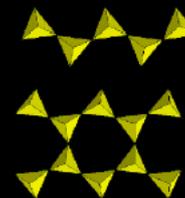
La classificazione dei silicati dipende dalla disposizione strutturale dei tetraedri:

- **nesosilicati** $[\text{SiO}_4^{4-}]_n$ - tetraedri indipendenti legati da cationi bivalenti
- **sorosilicati** $[\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}]_n$ - due tetraedri uniti con la condivisione di uno ione ossigeno
- **ciclosilicati** $[\text{Si}_3\text{O}_4^{6-}]_n$, $[\text{Si}_4\text{O}_{12}^{8-}]_n$, $[\text{Si}_6\text{O}_{16}^{12-}]_n$ - formati dalla sovrapposizione d'anelli a 6, più raramente a 3 o a 4, unità tetraedriche
- **inosilicati** $[\text{SiO}_3^{2-}]_n$, $[\text{Si}_4\text{O}_{11}^{6-}]_n$ - tetraedri uniti, con la condivisione di ioni ossigeno, a formare una catena semplice o una catena doppia, più catene sono legate da cationi
- **fillosilicati** $[\text{S}_4\text{O}_{10}^{4-}]_n$ - due fogli di tetraedri (T), disposti secondo maglie esagonali, uniti da un foglio di ottaedri (O). Nei tetraedri lo ione Si^{4+} può essere solo parzialmente sostituito da uno ione Al^{3+} , negli ottaedri lo ione Al^{3+} può essere sostituito da ioni Mg^{2+} e Fe^{2+} . Nei fillosilicati (miche), più strati, formati da tre fogli (TOT), sono uniti da ioni K^+
- **tectosilicati** $[\text{SiO}_2]_n$ - organizzazione strutturale tridimensionale di tetraedri che condividono tutti gli ioni ossigeno. Le zeoliti sono caratterizzate da peculiare disposizione spaziale di tetraedri con formazione di cavità intercomunicanti



CLASSI	DISPOSIZIONE DEI TETRAEDRI
NESOSILICATI	
SOROSILICATI	
CICLOSILICATI	

INOSILICATI

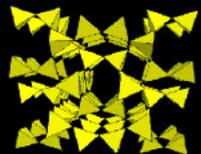


INOSILICATI

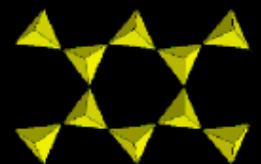
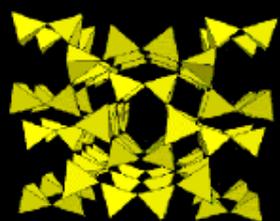
FILLOSILICATI



TECTOSILICATI



Classificazione strutturale dei silicati

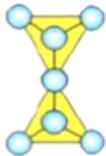
	CLASSI	DISPOSIZIONE DEI TETRAEDRI	GRUPPI STRUTTURALI	RAPPORTO SI/O	MINERALI
0	NESOSILICATI		Tetraedri indipendenti	1 : 4	OLIVINA
1	SOROSILICATI		Due tetraedri uniti	2 : 7	AKERMANITE
2	CICLOSILICATI		Anelli triangolari di tetraedri	1 : 3	WADEITE
	INOSILICATI		Catene semplici di tetraedri	1 : 3	AUGITE
	INOSILICATI		Catene doppie di tetraedri	4 : 11	ORNEBLENDA
3	FILLOSILICATI		Tetraedri disposti secondo maglie esagonali	2 : 5	MUSCOVITE
4	TECTOSILICATI		Reticolo tridimensionale di tetraedri	1 : 2	QUARZO

Classificazione strutturale dei silicati



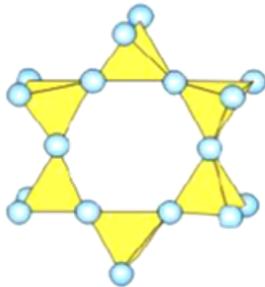
Tetraedro
indipendente
(SiO_4)⁴⁻

Nesosilicati



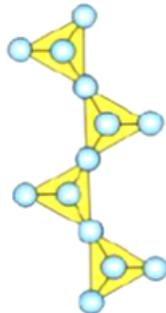
Unità
di due tetraedri:
(Si_2O_7)⁶⁻

Sorosilicati



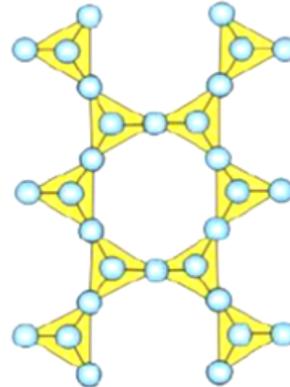
Anello di
6 tetraedri
(Si_6O_{18})¹²⁻

Ciclosilicati



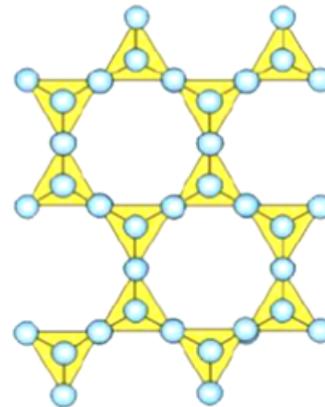
Catena infinita
semplice di
tetraedri:
(Si_2O_6)⁴⁻

Inosilicati



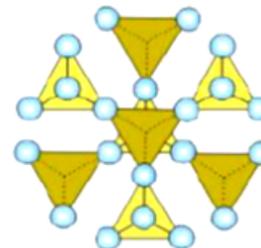
Catena infinita
doppia
di tetraedri:
(Si_4O_{11})⁶⁻

Inosilicati



Foglio di
tetraedri esteso
indefinitamente:
(Si_2O_5)²⁻

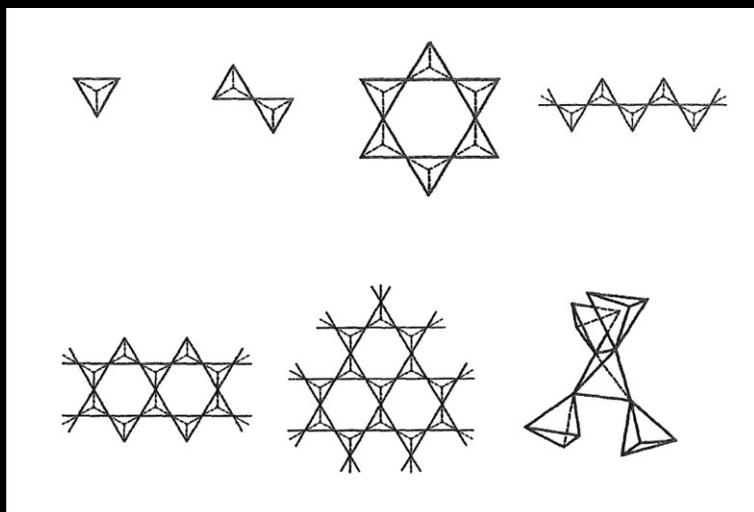
Fillosilicati



Rete di tetraedri
estesa nelle
3 dimensioni
(SiO_2)⁰

Tectosilicati

Classificazione dei silicati in base alla disposizione delle unità tetraedriche di Si



STRUTTURA CARATTERISTICA	CLASSI	DISPOSIZIONI DELLE UNITA' TETRAEDRICHE	RAPPORTO Si:O	MINERALI TIPICI DELLA CLASSE
Tetraedri singoli	Nesosilicati	Nessun vertice tetraedrico è condiviso	1:4	Olivina, Zircone
Coppie di tetraedri	Sorosilicati	Ogni tetraedro condivide un solo vertice con un altro tetraedro	1:3,5	Emimorfite
Anelli tetraedrici	Ciclosilicati	Ogni tetraedro condivide due vertici con altri due tetraedri	1:3	Berillo, Tormalina
Catene tetraedriche singole	Inosilicati	Ogni tetraedro condivide due vertici con altri due tetraedri	1:3	Pirosseni (Augite)
Catene tetraedriche doppie (o a "fasce")	Inosilicati	Ogni tetraedro condivide alternativamente due o tre vertici con altri tre tetraedri	1:2,75	Anfiboli (Orneblenda)
Fogli continui	Fillosilicati	Ogni tetraedro condivide tre vertici con altri tre tetraedri	1:2,5	Miche, Cloriti, Smectiti
Strutture tridimensionali	Tettosilicati	Ogni tetraedro condivide i quattro vertici con altri quattro tetraedri	1:2	Quarzo, Feldspati, Zeoliti

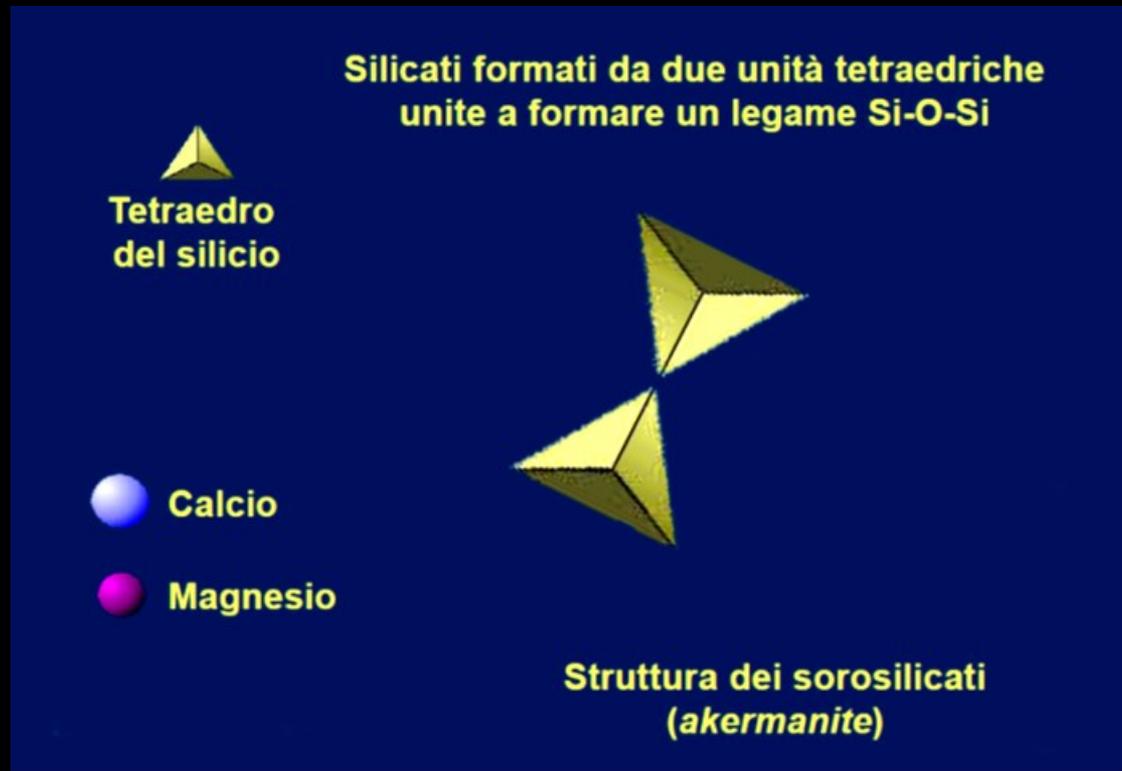
Classificazione dei silicati in base alla disposizione delle unità tetraedriche

Nesosilicati, $[\text{SiO}_4^{4-}]_n$ struttura definita da singoli tetraedri indipendenti, carichi, uniti da legami ionici con ioni metallici (Fe^{2+} , Mg^{2+}). Olivina.



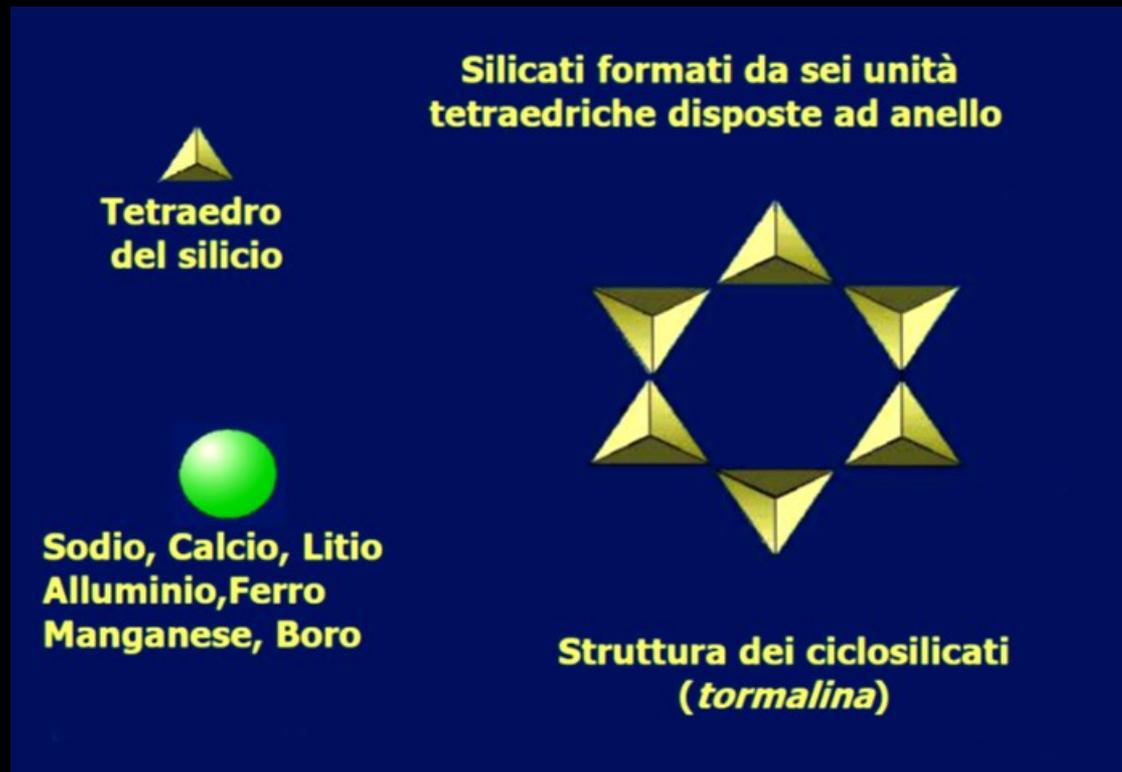
Classificazione dei silicati in base alla disposizione delle unità tetraedriche

Sorosilicati, $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ struttura definita da coppie di tetraedri, cariche, unite da legami ionici con ioni metallici (Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+}). Epidoto, akermanite.



Classificazione dei silicati in base alla disposizione delle unità tetraedriche

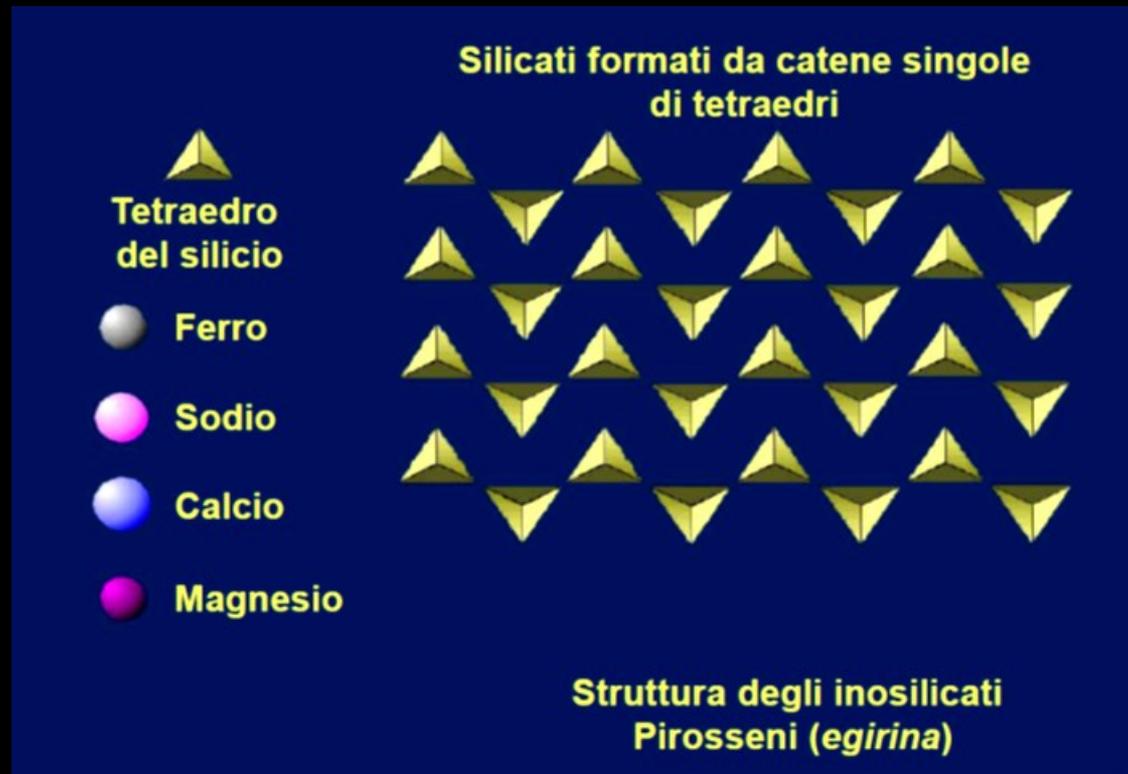
Ciclosilicati, struttura definita da unità di anelli formate dalla sovrapposizione di 3 $[\text{Si}_3\text{O}_9^{6-}]_n$, 4 $[\text{Si}_4\text{O}_{12}^{8-}]_n$ oppure da 6 unità tetraedriche $[\text{Si}_6\text{O}_{18}^{12-}]_n$ unite tra di loro. Sono presenti Li^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , BO_3^{3-} . Tormalina, berillo.



Classificazione dei silicati in base alla disposizione delle unità tetraedriche

Inosilicati, sono caratterizzati da un collegamento lineare indefinito dei tetraedri. Comprendono due importanti gruppi di minerali:

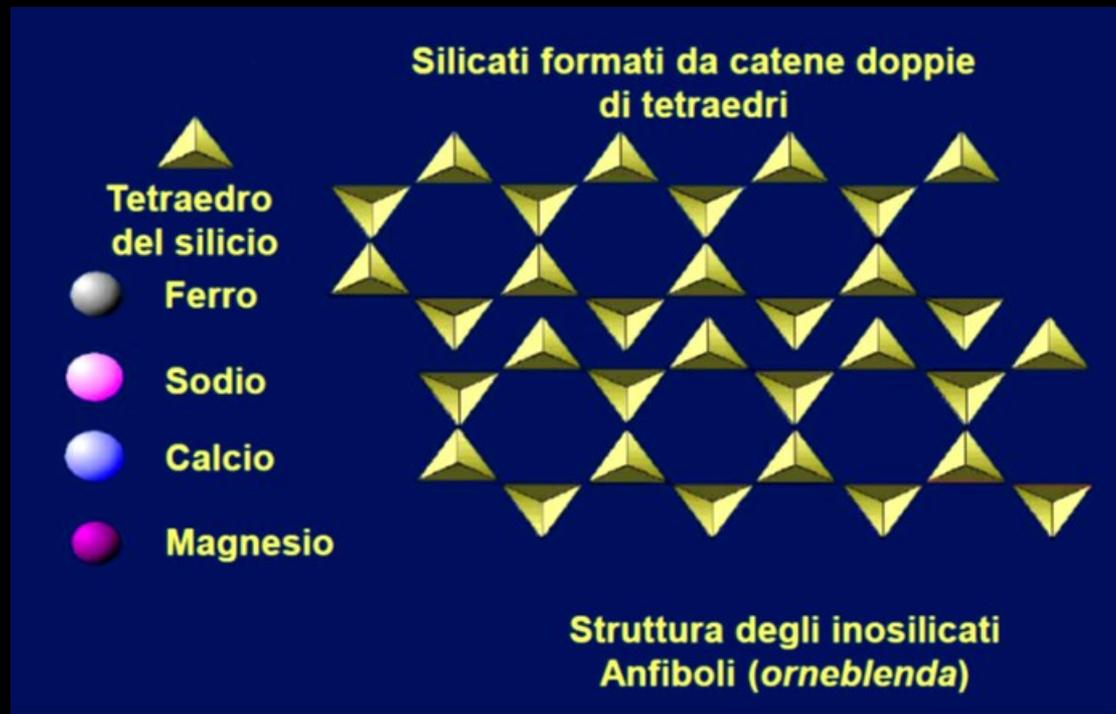
- a catena semplice (**pirosseni**) $[\text{SiO}_3]^{2-}_n$, uniti tramite Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} . Augite.



Classificazione dei silicati in base alla disposizione delle unità tetraedriche

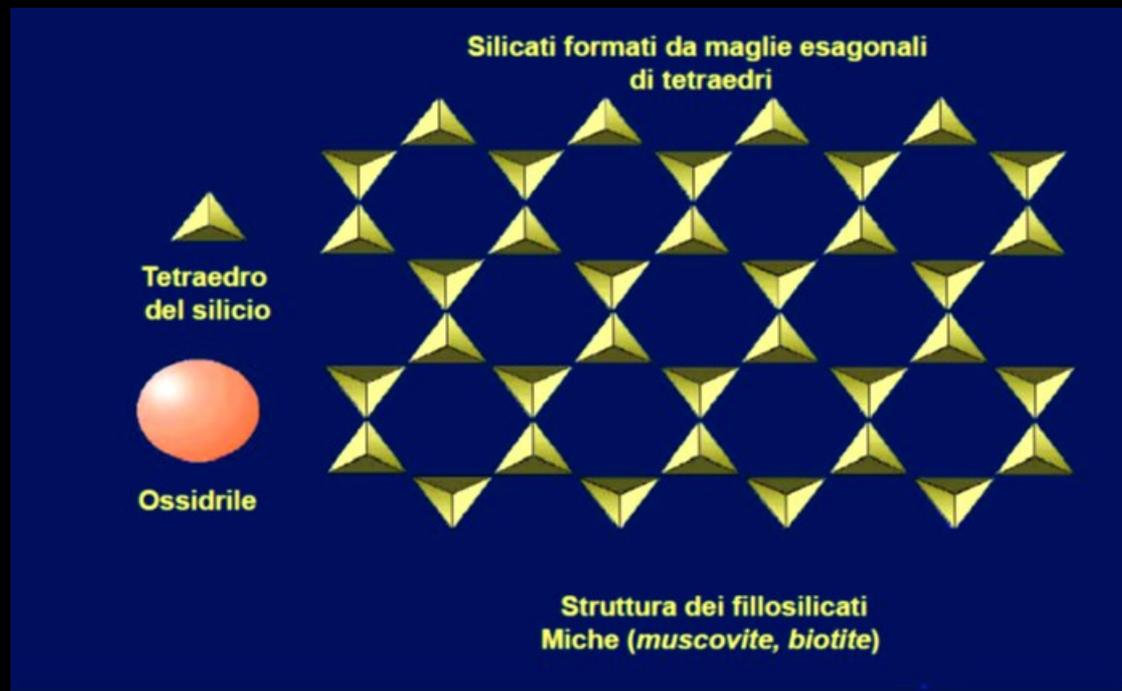
Inosilicati, sono caratterizzati da un collegamento lineare indefinito dei tetraedri. Comprendono due importanti gruppi di minerali:

- a catena doppia (**anfibioli**) $[\text{Si}_4\text{O}_{11}^{6-}]_n$, uniti tramite Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Na^+ . Orneblenda.



Classificazione dei silicati in base alla disposizione delle unità tetraedriche

Fillosilicati, $[\text{Si}_4\text{O}_{10}^{4-}]_n$ originati per polimerizzazione di unità tetraedriche a formare una rete a maglie pseudo-esagonali con sviluppo bidimensionale dell'edificio cristallino (**foglio**). Comprendono minerali primari (miche) e secondari (*minerali argillosi*). Presenza di **sostituzioni isomorfe eterovalenti** che comportano uno sbilanciamento di carica.



Classificazione dei silicati in base alla disposizione delle unità tetraedriche

Fillosilicati, $[\text{Si}_4\text{O}_{10}^{4-}]_n$ originati per polimerizzazione di unità tetraedriche a formare una rete a maglie pseudo-esagonali con sviluppo bidimensionale dell'edificio cristallino (**foglio**). Comprendono minerali primari (miche) e secondari (*minerali argillosi*), caratterizzati quest'ultimi da **sostituzioni isomorfe eterovalenti** che comportano uno sbilanciamento di carica.

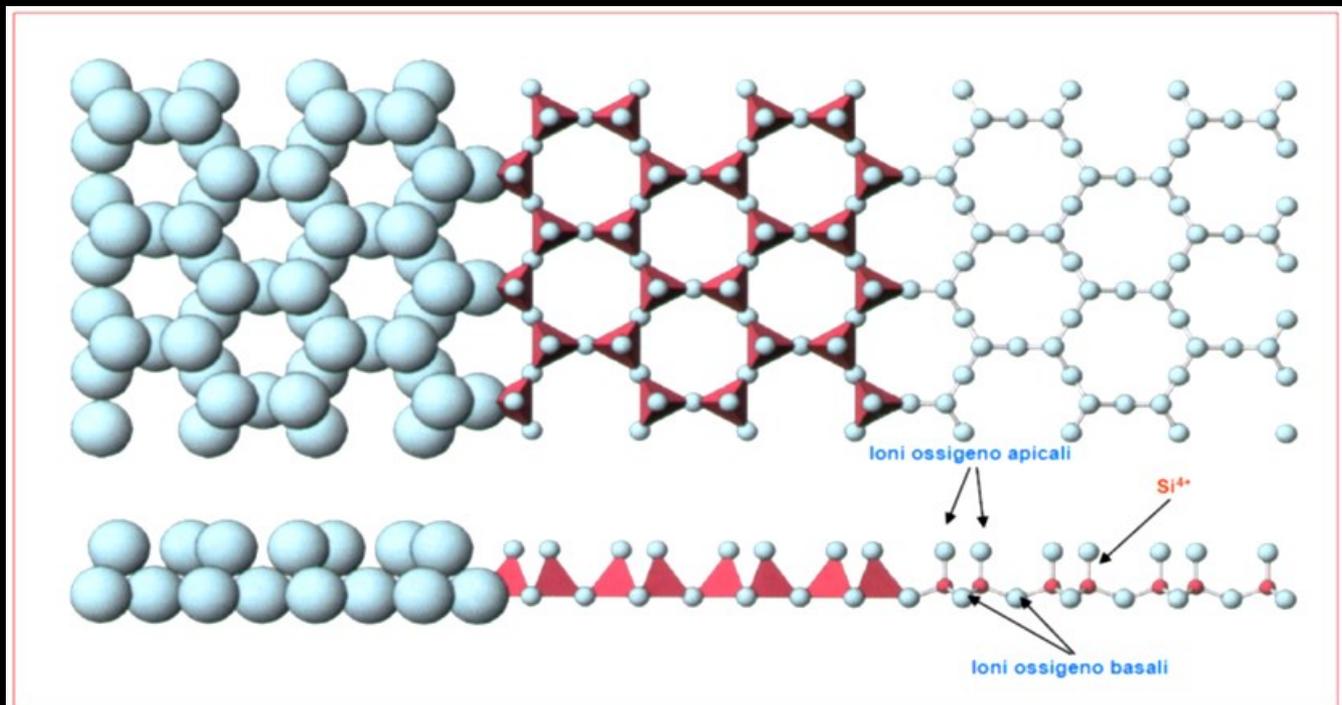


Fig. 2.20 - Visione dall'alto e di lato di un foglio tetraedrico (T) rappresentato secondo i diversi modelli grafici (modificato da Sparks, 2003).

Foglio tetraedrico

Classificazione dei silicati in base alla disposizione delle unità tetraedriche

Fillosilicati, $[\text{Si}_4\text{O}_{10}^{4-}]_n$ originati per polimerizzazione di unità tetraedriche a formare una rete a maglie pseudo-esagonali con sviluppo bidimensionale dell'edificio cristallino (*foglio*). Concorrono alla formazione dei fillosilicati i fogli tetraedrici (Si) e ottaedrici (Al) collegati tra di loro a formare strutture complesse chiamate **strati** (o pacchetti, o lamelle).

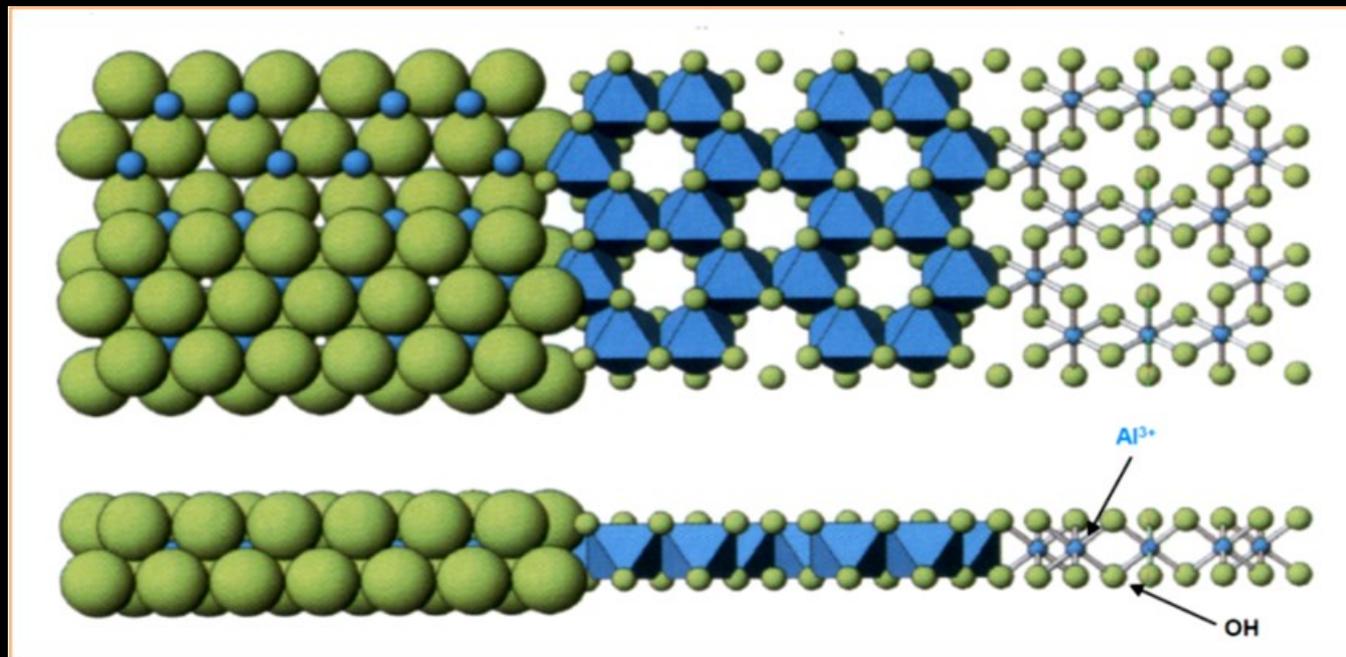


Fig. 2.21 - Visione dall'alto e di lato di un foglio ottaedrico (diottaedrico) rappresentato secondo i diversi modelli grafici (modificato da Sparks, 2003).

Foglio ottaedrico

Classificazione dei silicati in base alla disposizione delle unità tetraedriche

Fillosilicati, $[\text{Si}_4\text{O}_{10}^{4-}]_n$ originati per polimerizzazione di unità tetraedriche a formare una rete a maglie pseudo-esagonali con sviluppo bidimensionale dell'edificio cristallino (*foglio*). Concorrono alla formazione dei fillosilicati i fogli tetraedrici (Si) e ottaedrici (Al) collegati tra di loro a formare strutture complesse chiamate **strati** (o pacchetti, o lamelle).

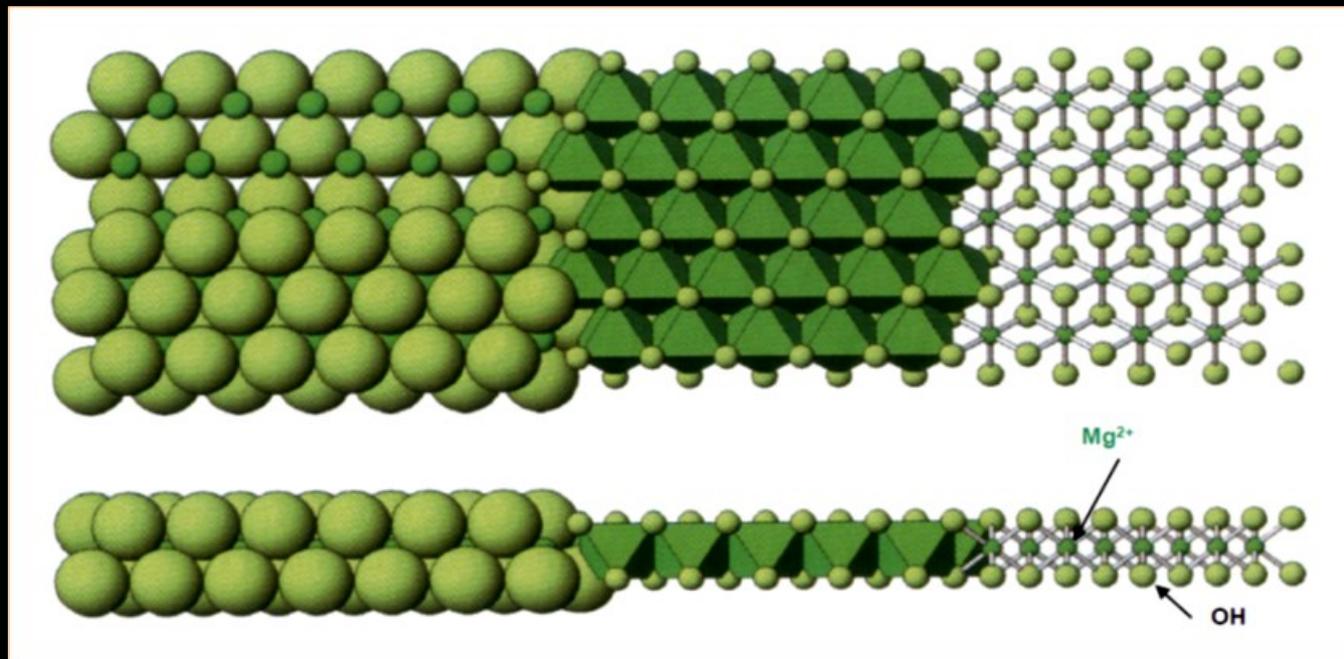
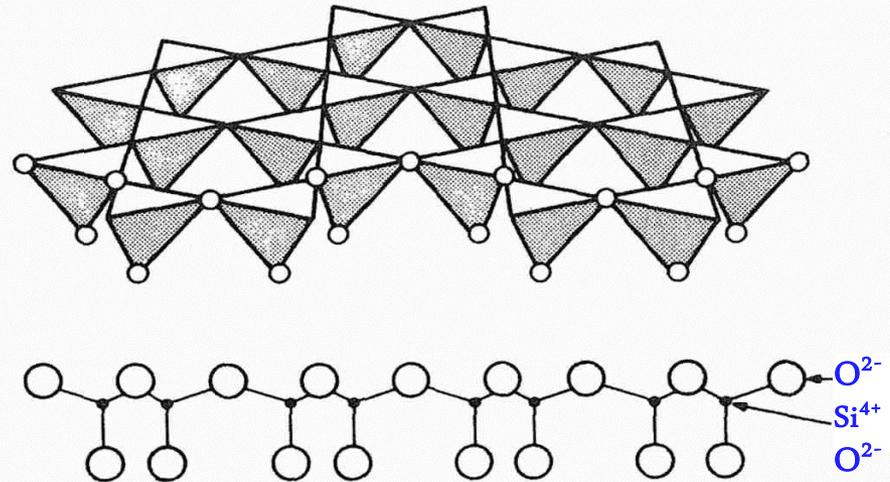


Fig. 2.22 - Visione dall'alto e di lato di un foglio ottaedrico (trioctaedrico) rappresentato secondo i diversi modelli grafici (modificato da Sparks, 2003).

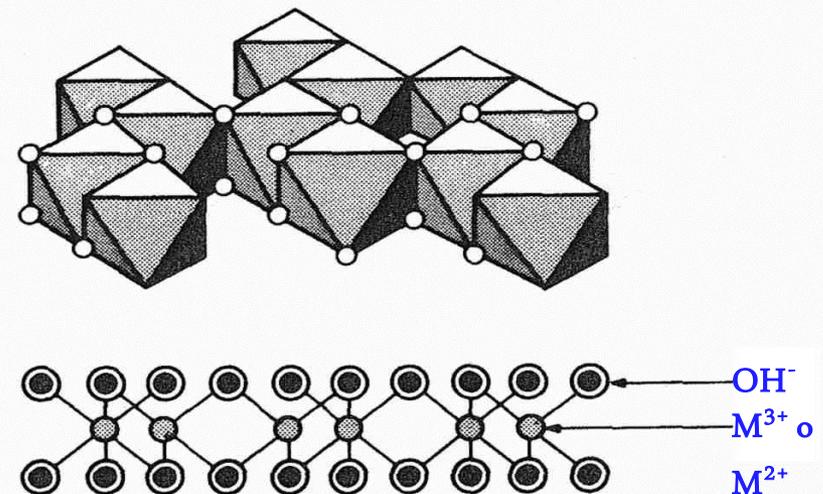
Foglio ottaedrico

La combinazione delle unità strutturali tetraedriche e delle unità strutturali ottaedriche genera, rispettivamente, i fogli tetraedrici e i fogli ottaedrici.

Foglio tetraedrico (Si)



Foglio ottaedrico (Al, Mg)



Struttura dei fogli tetraedrici e ottaedrici dei fillosilicati

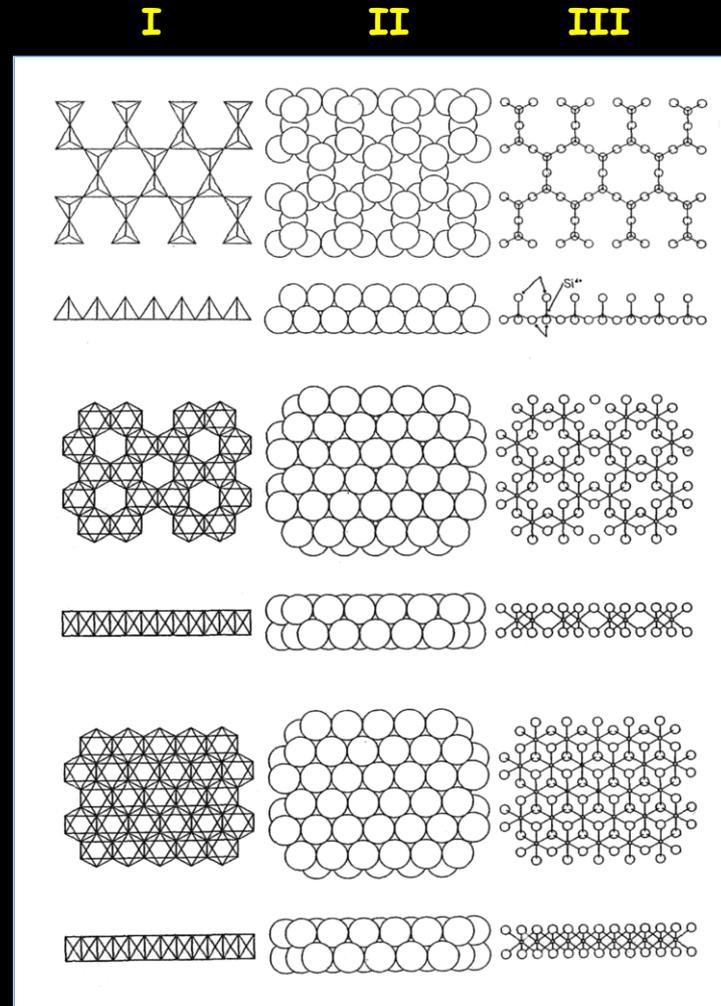
Rappresentazione schematica in pianta e di prospetto delle strutture a "foglio", tipiche dei fillosilicati: foglio **tetraedrico**, foglio **ottaedrico (diottaedrico)** e foglio **ottaedrico (triottaedrico)**.

La disposizione degli ioni nei fogli può essere schematicamente rappresentata usando tre modelli descrittivi.

Il primo (I) è il **modello a poliedri** che evidenzia la struttura geometrica di riferimento, tetraedro o ottaedro.

Il secondo (II) è il **modello di impacchettamento a sfere**, il quale rappresenta l'ingombro sterico, cioè il volume degli ioni (anione ossigeno o ossidrile).

Il terzo (III), detto **a cerchi e segmenti**, descrive in dettaglio l'orientamento dei legami chimici che intercorrono tra i vari ioni.



Foglio Tetraedrico

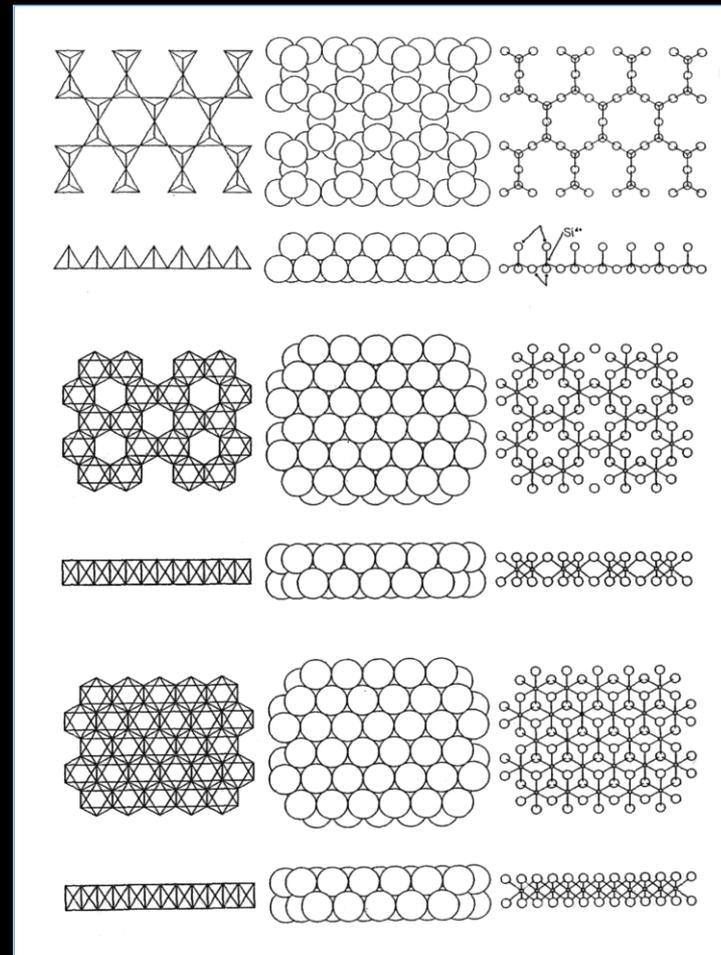
Foglio ottaedrico (diottaedrico)

Foglio ottaedrico (triottaedrico)

Struttura dei fogli tetraedrici e ottaedrici dei fillosilicati

In ognuno modello rappresentativo risultano evidenti:

- la regolarità delle strutture minerali,
- la distribuzione degli ioni lungo piani paralleli tra loro,
- la condivisione degli anioni tra le diverse unità strutturali e
- la presenza di cavità pseudo-esagonali sulle superfici planari.



Foglio
Tetraedrico

Foglio
ottaedrico
(diottaedrico)

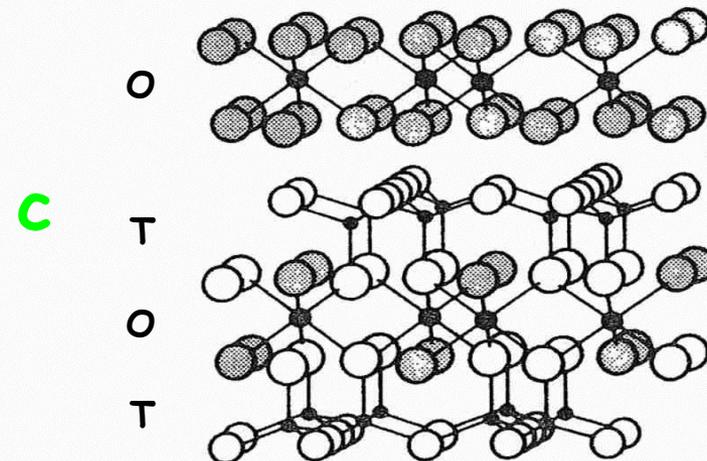
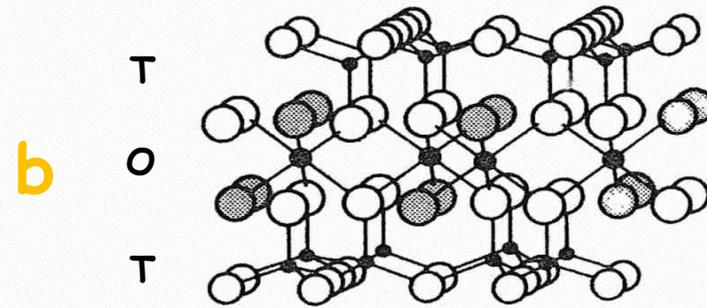
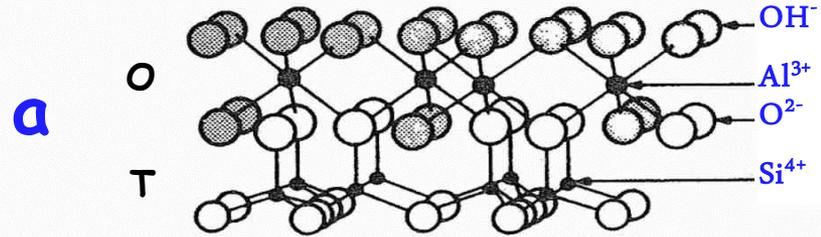
Foglio
ottaedrico
(triottaedrico)

La combinazione di fogli tetraedrici ed ottaedrici determina l'organizzazione strutturale dei fillosilicati generando strati

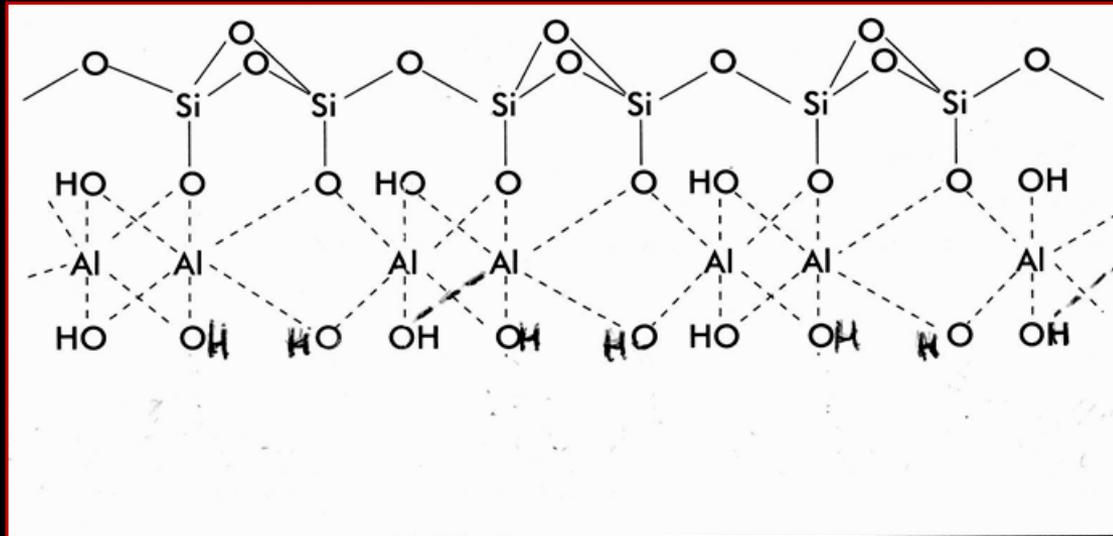
del tipo 1:1 (TO) o a struttura dimorfica (a)

del tipo 2:1 (TOT) o a struttura trimorfica (b)

del tipo 2:1:1 (TOTO) o a struttura tetramorfica (c)

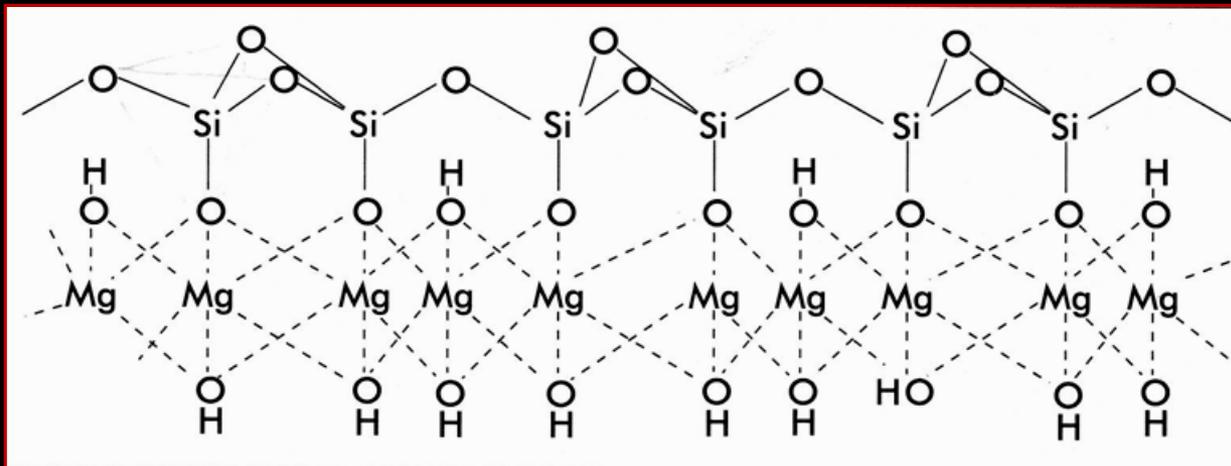


FILLOSILICATI DIMORFICI O DEL TIPO 1:1



Caolinite

Fig. 1.8 Struttura di un minerale 1:1 con ottaedri contenenti Al (diottaedrico).



Serpentino

Fig. 1.9 Struttura di un minerale 1:1 con ottaedri contenenti Mg (triottaedrico).

FILLOSILICATI TRIMORFICI O DEL TIPO 2:1

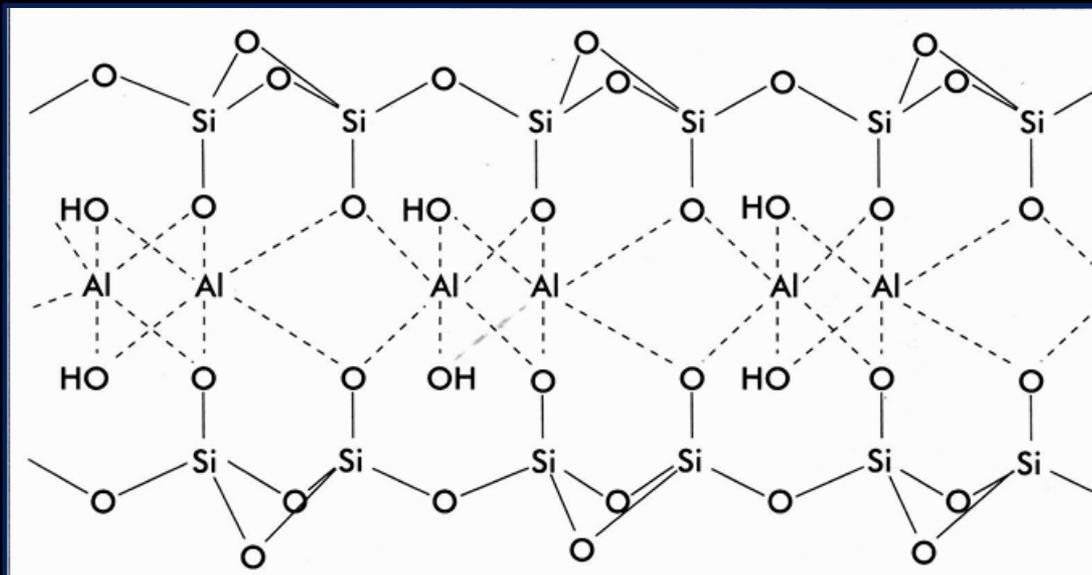


Fig. 1.10 Struttura di un minerale 2:1 dioctaedrico.

Pirofillite

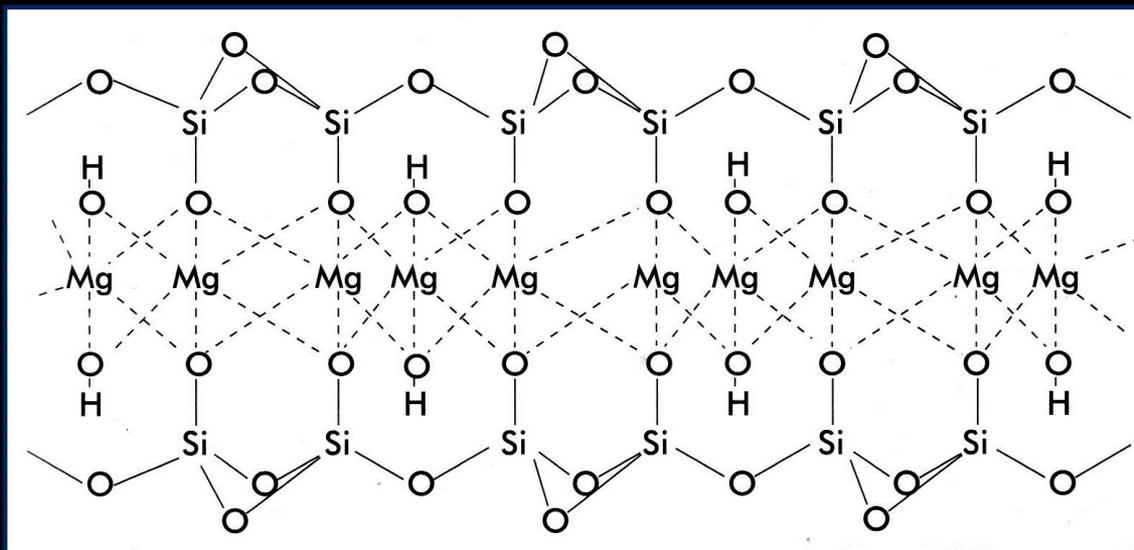
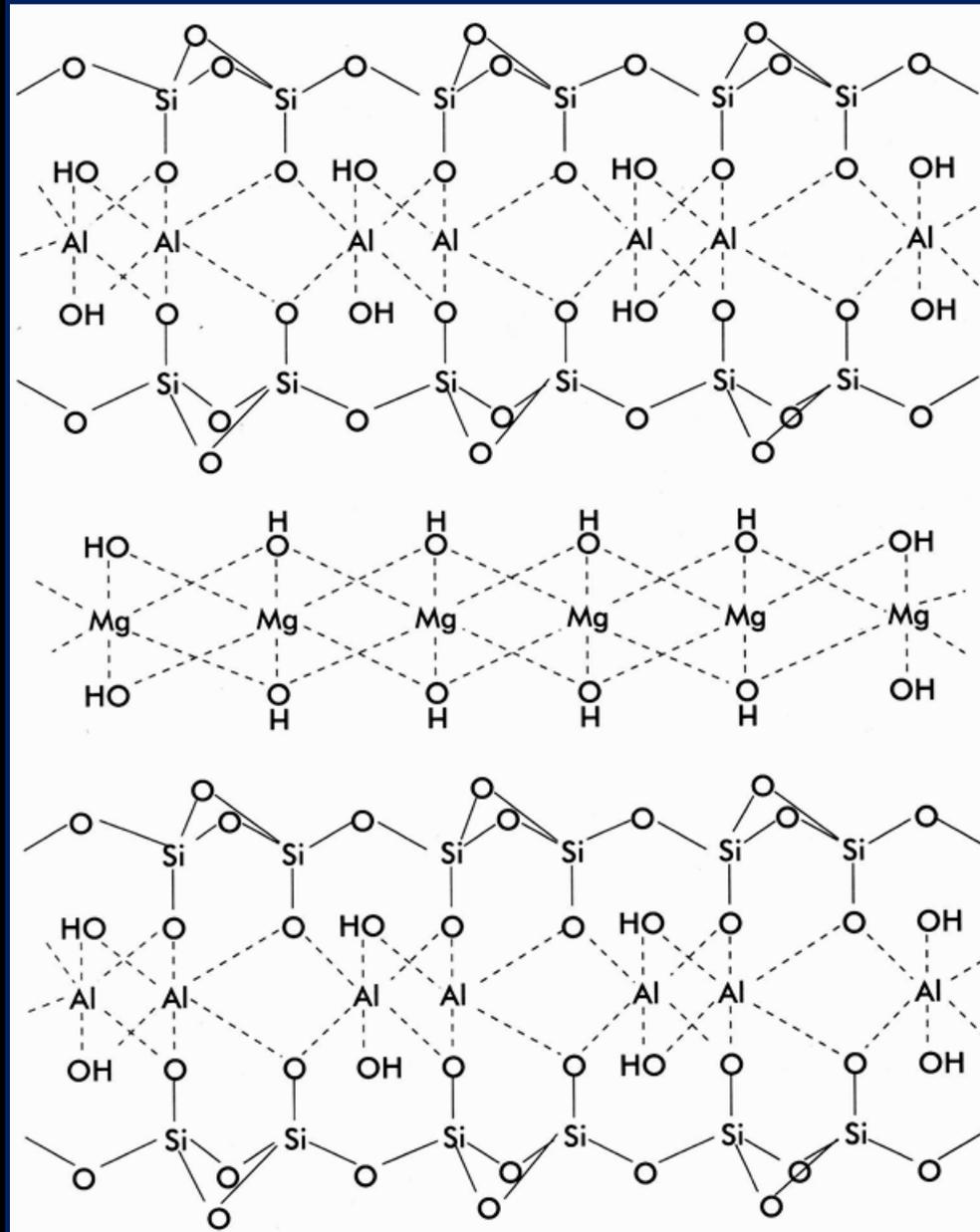


Fig. 1.11 Struttura di un minerale 2:1 triottaedrico.

Talco

FILLOSILICATI TETRAMORFICI O DEL TIPO 2:1:1



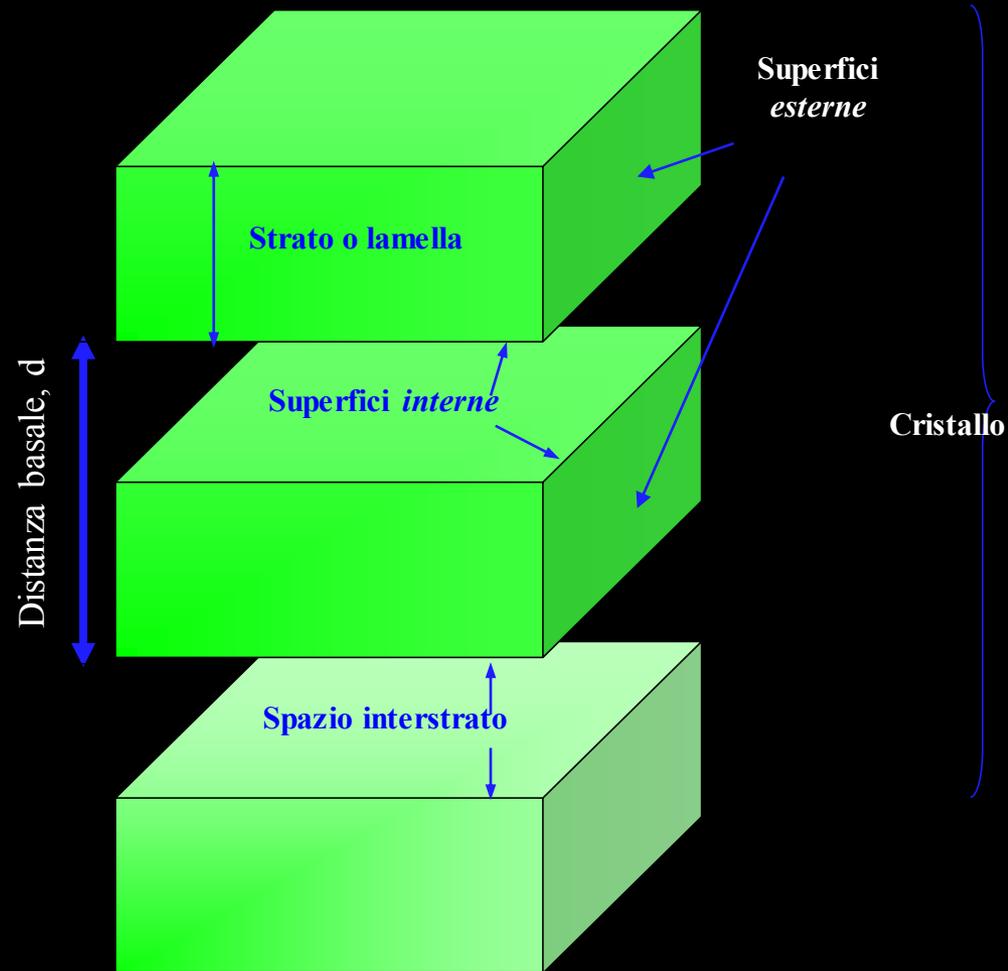
Clorite

STRUTTURA, DISTANZA BASALE E SUPERFICI DEI FILLOSILICATI

L'uso dei termini *piano*, *foglio* e *strato* (o pacchetto) segue le raccomandazioni del Comitato per la Nomenclatura della AIPEA (Association International Pour l'Étude des Argiles).

I termini si riferiscono ad arrangiamenti strutturali crescenti, il *piano* (*plane*) di ioni, il *foglio* (*sheet*) tetraedrico o ottaedrico, lo *strato* (*layer*) 1:1 o 2:1.

Il *foglio* è una combinazione di piani e lo *strato* (o lamella o pacchetto) è una combinazione di fogli.

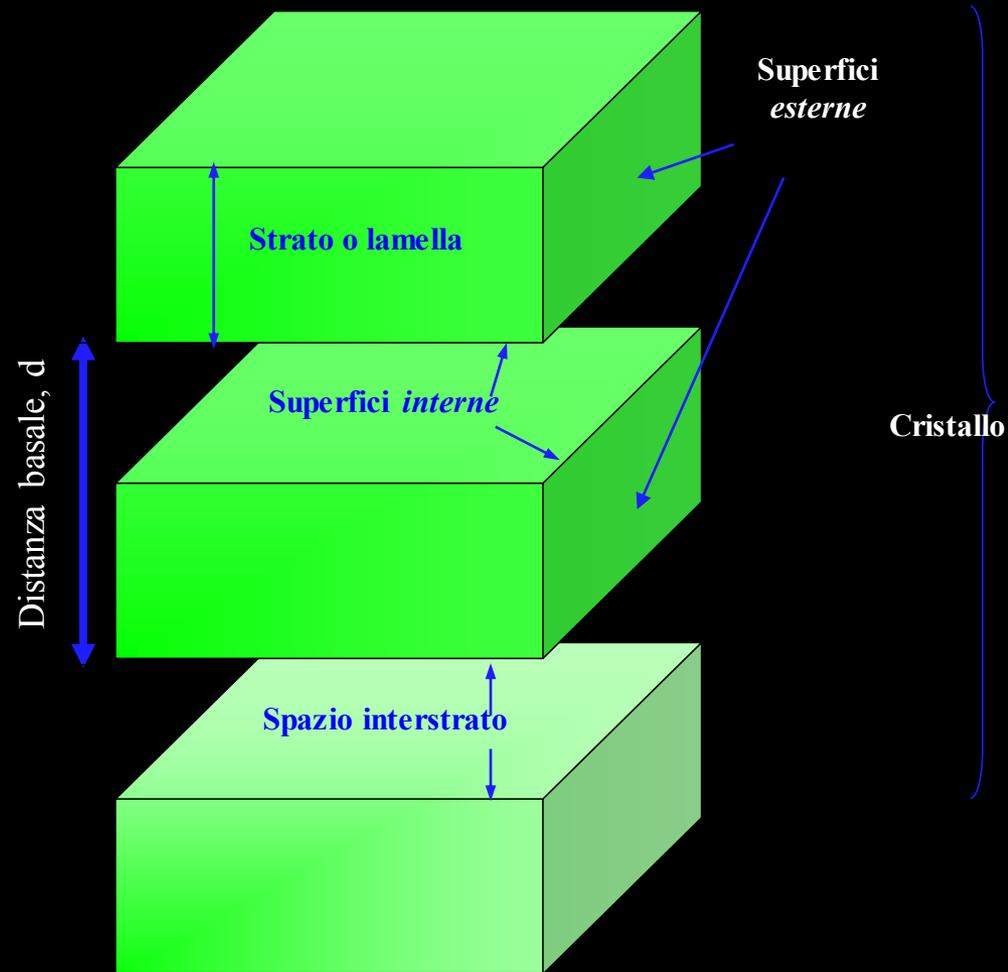


STRUTTURA, DISTANZA BASALE E SUPERFICI DEI FILLOSILICATI

Gli strati possono essere separati tra loro da materiali interstrato, quali cationi, cationi idratati, molecole organiche, gruppi e fogli di ossiidrossidi ottaedrici.

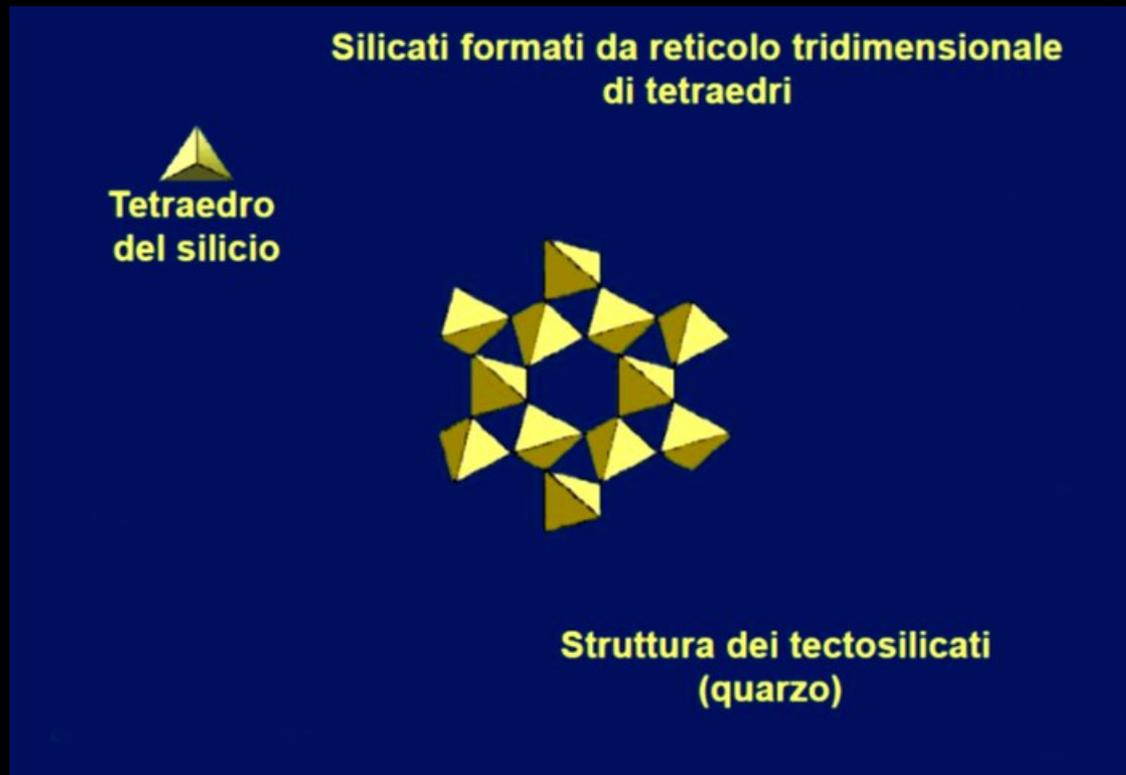
Un insieme di strati forma il *crystallo (crystal)*. La distanza tra un piano basale di uno strato e l'omologo piano di uno strato successivo è chiamata *distanza basale* o *periodo di identità*.

I fillosilicati presentano generalmente estese superfici planari interstrato e limitate superfici laterali o di spigolo (o di taglio).



Classificazione dei silicati in base alla disposizione delle unità tetraedriche

Tectosilicati, $[\text{SiO}_2]_n$ struttura continua di tetraedri collegati tra di loro mediante tutti gli atomi di ossigeno di vertice. Sostituzioni isomorfe eterovalenti di Al^{3+} al posto di Si^{4+} . Sono presenti Li^+ , Na^+ , Ca^{2+} . **Quarzo**, **feldspati** (ortoclasio ricco in K^+), **plagioclasi** (albite ricca in Na^+ e anortite ricca in Ca^{2+}), **zeoliti**.



Classificazione dei silicati in base alla disposizione delle unità tetraedriche

Tectosilicati, $[\text{SiO}_2]_n$ struttura continua di tetraedri collegati tra di loro mediante tutti gli atomi di ossigeno di vertice. Sostituzioni isomorfe eterovalenti di Al^{3+} al posto di Si^{4+} . Sono presenti Li^+ , Na^+ , Ca^{2+} . **Quarzo**, **feldspati** (ortoclasio ricco in K^+), **plagioclas**i (albite ricca in Na^+ e anortite ricca in Ca^{2+}), **zeoliti**.

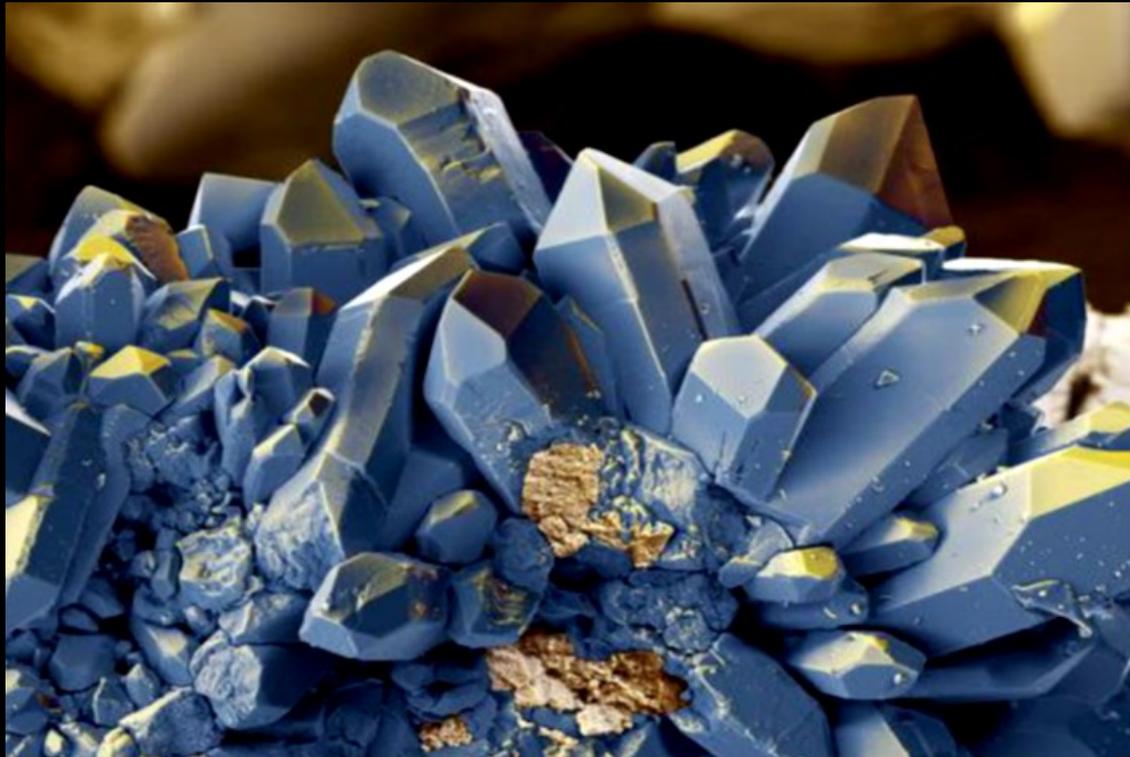


Fig. 2.25 - Immagine relativa al tectosilicato: quarzo.

Classificazione dei silicati in base alla disposizione delle unità tetraedriche

In piccole cavità di diversa dimensione ma intercomunicanti, le zeoliti possono trattenere acqua (acqua zeolitica), eliminabile per riscaldamento. Successivamente alla disidratazione, per processo selettivo, le cavità possono ancora trattenere molecole di acqua, di alcol e di idrocarburi. Per le peculiari proprietà chimico-fisiche e per gli specifici caratteri strutturali, le zeoliti sono utilizzate come scambiatori ionici o come setacci molecolari.

