



# Simmetria nei Minerali

Gian Carlo Capitani

Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e di Scienze della Terra  
Università degli Studi di Milano-Bicocca

Piano Nazionale Lauree Scientifiche - Viaggio nella (A)Simmetria  
Università degli Studi di Milano-Bicocca, 15-31 Febbraio 2019



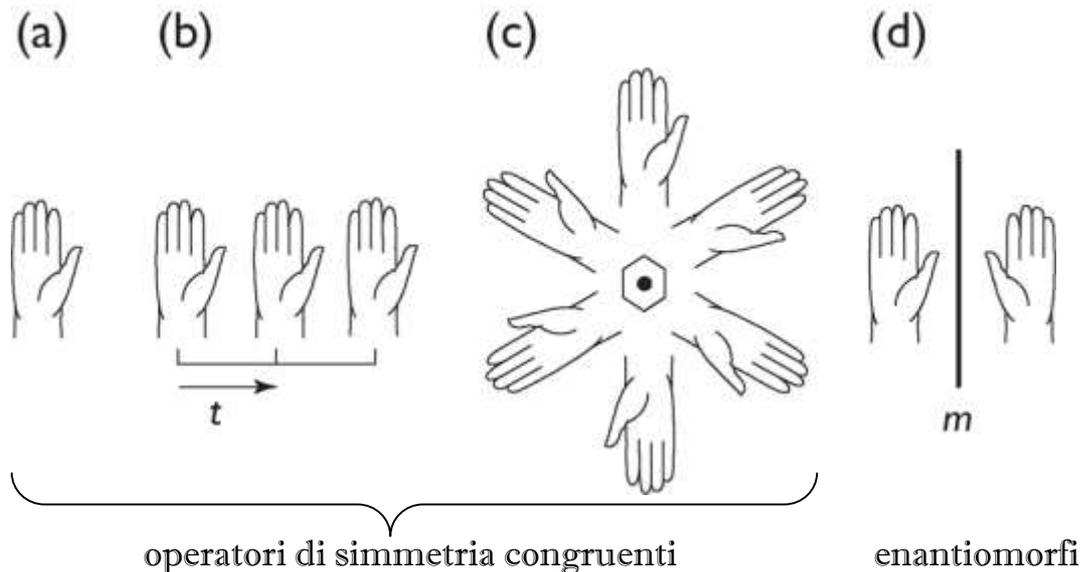
# Simmetria nei Minerali

“Un *minerale* è un solido naturale con una **distribuzione atomica estremamente ordinata** ed una definita (ma non necessariamente fissa) composizione chimica”.

I primi mineralogisti della storia, come Steno e Haüy, furono affascinati dalla peculiare bellezza dei cristalli, in particolare dalla loro simmetria.

La simmetria è un principio universale che ritroviamo negli esseri viventi, nell'arte e nella musica, ma è straordinariamente rappresentata dalla morfologia dei cristalli e dalle strutture cristalline.

Noi ci riferiamo ad un oggetto indicandolo come simmetrico se muovendolo in un certo modo riappare uguale e se stesso.



Quarzo (foto Roberto Appiani, Rivista Mineralogica Italiana)



Acquamarina (foto Roberto Appiani, Rivista Mineralogica Italiana)



Demantoide (Valmalenco, foto Roberto Appiani)



Fluorite (Cuasso al Monte, foto Roberto Appiani)



Tormalina (Adamello, foto Roberto Appiani)





Cava dei cristalli giganti (Naica Mine, Chihuahua, Mexico, fonte internet)

# Simmetria nei Minerali

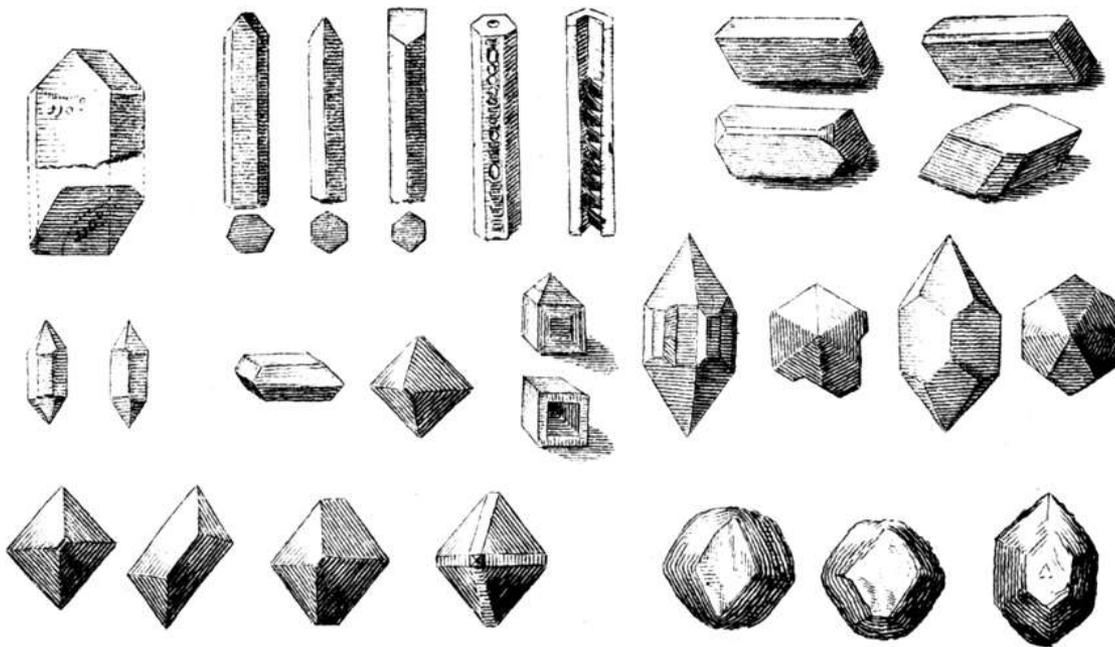
“Un *minerale* è un solido naturale con una **distribuzione atomica estremamente ordinata** ed una definita (ma non necessariamente fissa) composizione chimica”.

Il termine minerale è anche usato (impropriamente) dai nutrizionisti per indicare elementi chimici o composti necessari al nostro metabolismo (acqua oligominerale, calcio per le ossa, magnesio contro la fatica, ecc...) e colloquialmente per indicare il petrolio (olio minerale)...

I minerali sono ovunque: camminiamo su di essi (sabbia, sanpietrino), ci vestiamo di minerali (gemme), li mangiamo (sale), li usiamo per disegnare (grafite) e per scriverci sopra (filler nella carta), ci laviamo i denti (apatite nel dentifricio)... trasportano l'elettricità dentro le nostre case (rame), le quali sono fatte di minerali (laterizi, malte...) e costituiscono le materie prime per i nostri manufatti (lampada di alabastro, scacchiera in onice...).

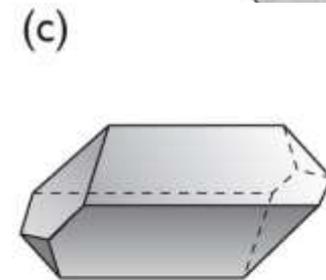
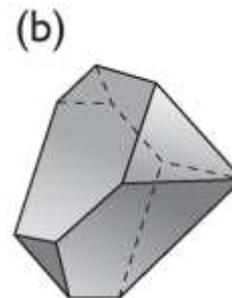
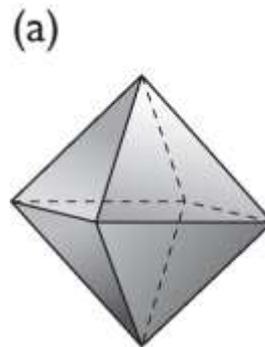
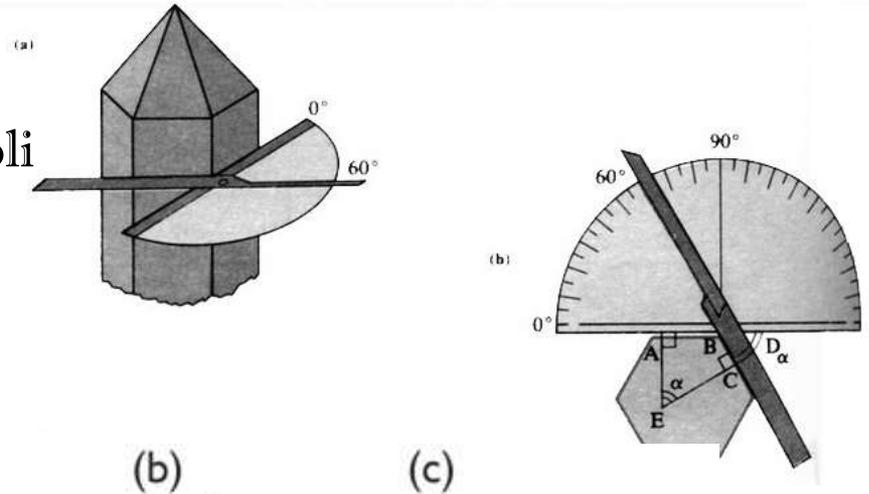
Senza minerali non avremmo una Terra solida sulla quale camminare ed il presente sistema economico e sociale...

Nel **1669** Nicolaus **Steno** (Stenone) scopre che gli angoli tra facce corrispondenti del quarzo sono sempre gli stessi, indipendentemente della provenienza del minerale e delle dimensioni dei cristalli.



Nel **1723** Micheal A. **Capper** osserva che ciascuna specie minerale ha il suo corredo caratteristico di facce cristallografiche e propone la *Legge della costanza degli angoli interfacciali*.

Per esempio un cristallo di magnetite può presentarsi come un perfetto ottaedro o come un ottaedro disuniforme: in entrambi casi gli angoli tra le facce sono identici.

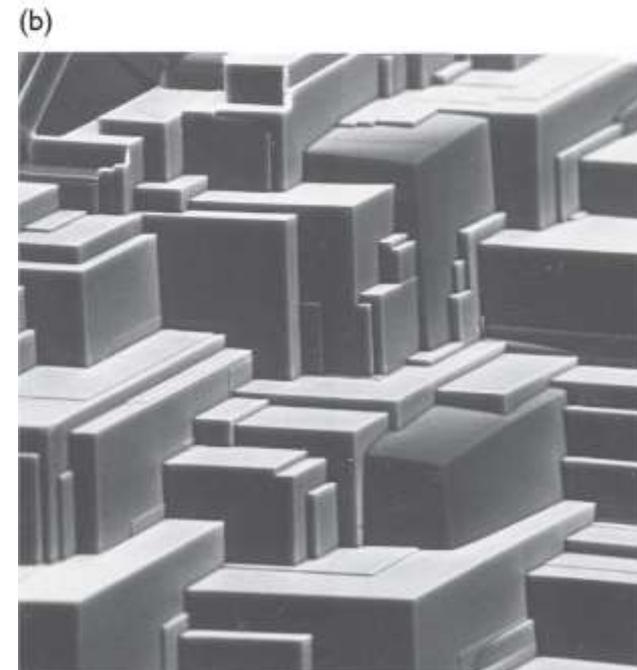
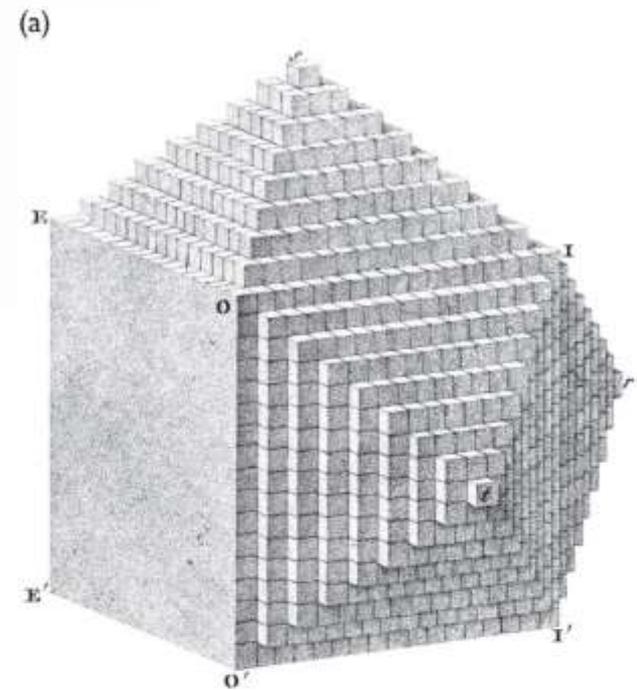


Nel **1773** Torbern **Bergmann** osservò che se si frantuma un cristallo di calcite, i frammenti prendono la forma di romboedri, e se uno di questi romboedri è frantumato ulteriormente, si formano frammenti romboedrici più piccoli, e via di seguito...

Se lo stesso esperimento si effettua su cristalli di salgemma, i frammenti si formano lo stesso, ma di forma cubica questa volta.

Queste osservazioni portano pochi anni più tardi (**1784**) René J. **Haüy** a proporre una teoria che spiegava la morfologia e la maniera di frantumarsi dei cristalli: tutti i cristalli sono costituiti da parallelepipedi elementari (*molecole integrali*) che riempiono il volume del cristallo senza lasciare spazi vuoti.

Immagine SEM di una lega di europio e tellurio →



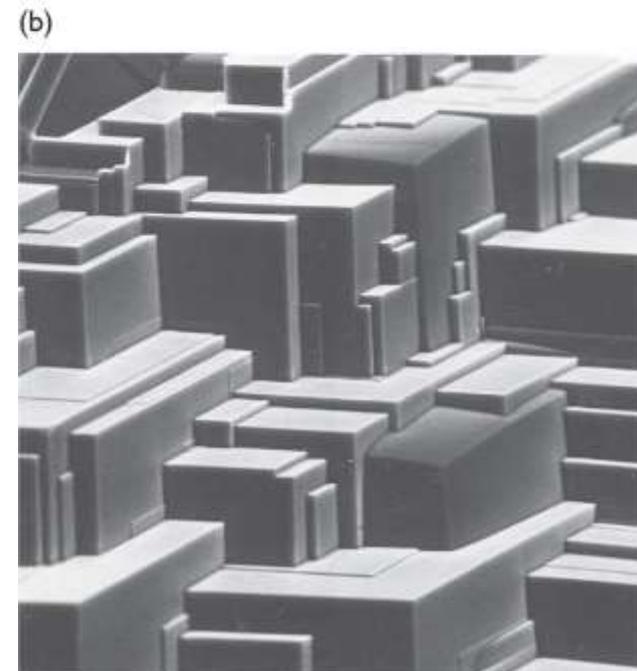
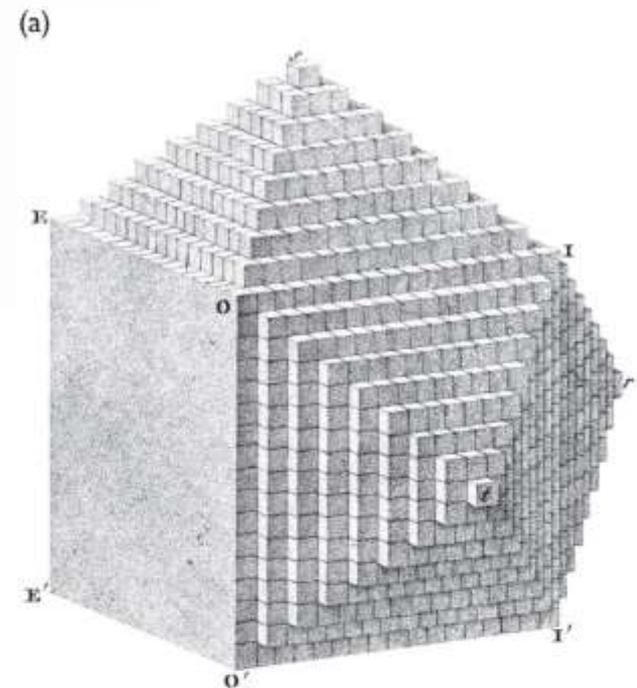
Haüy spiegava le facce esterne dei cristalli come piani contornanti pile di parallelepipedi.

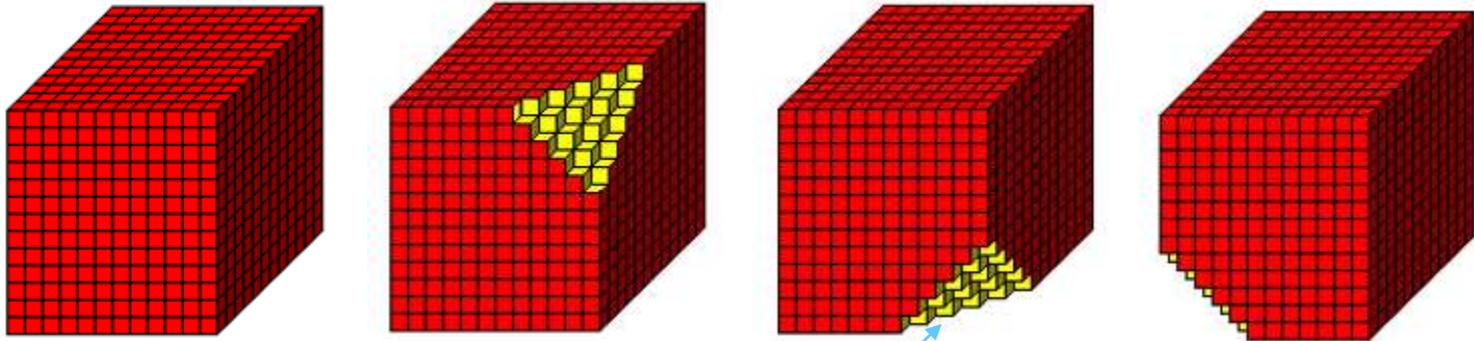
Il modello spiegava per esempio le forme piramidali dei cristalli ottaedrici come dovute a facce contornanti pile di cubi (parallelepipedi cubici).

Questo concetto è rimasto una ipotesi per oltre cento anni, ma oggi sappiamo essere fondamentalmente corretto.

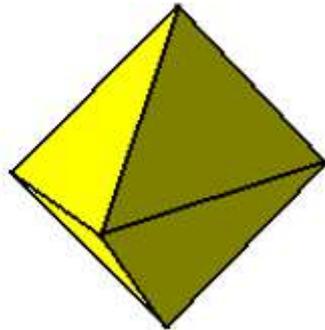
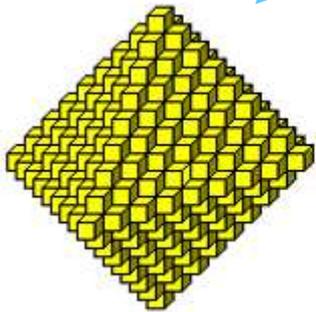
Le “*molécules intégrantés*” sono dunque unità idealizzate della struttura cristallina che possono contenere singoli atomi o gruppi di atomi, che noi chiamiamo *celle elementari*, la cui ripetizione per traslazione nelle tre dimensioni dello spazio forma il cristallo macroscopico.

Immagine SEM di una lega di europio e tellurio →



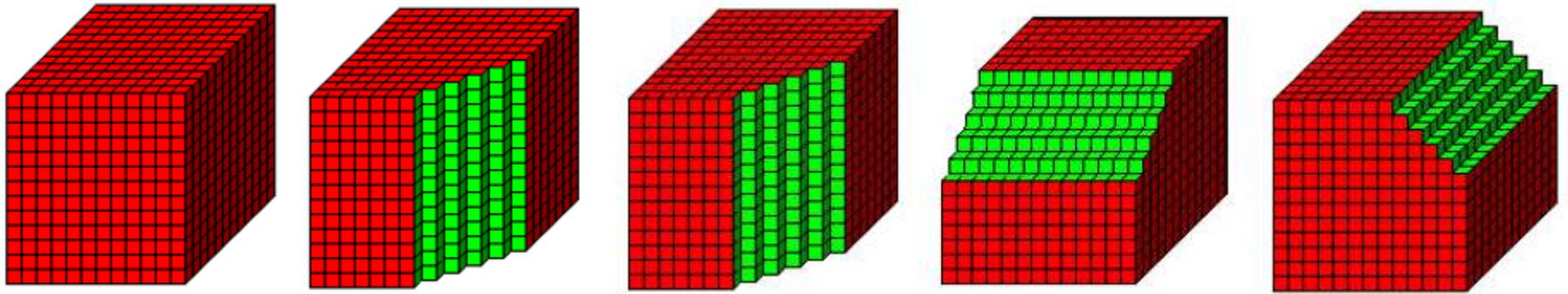


Facce cristallografiche {111}



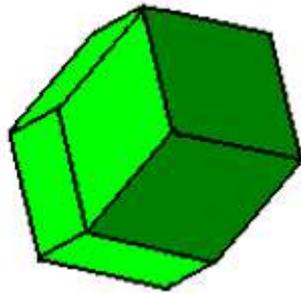
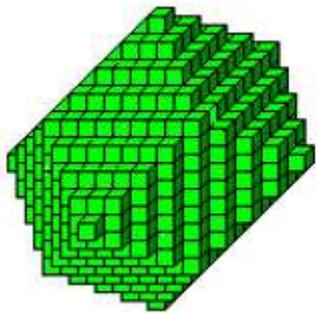
Spinello rosso su calcite (Myanmar) →





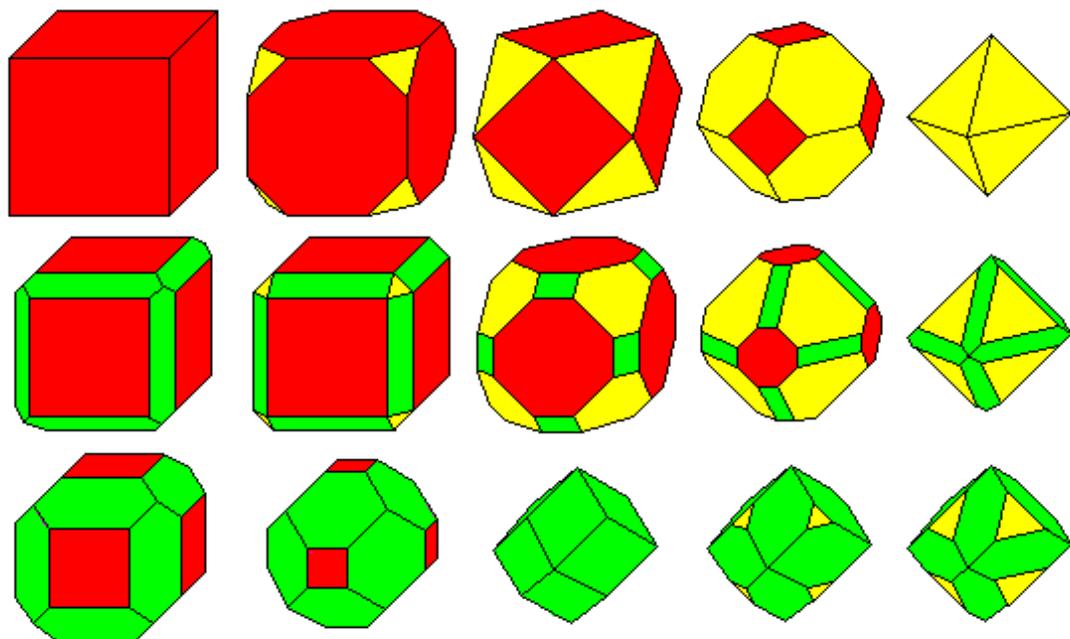
Facce cristallografiche {001}

Facce cristallografiche {101}



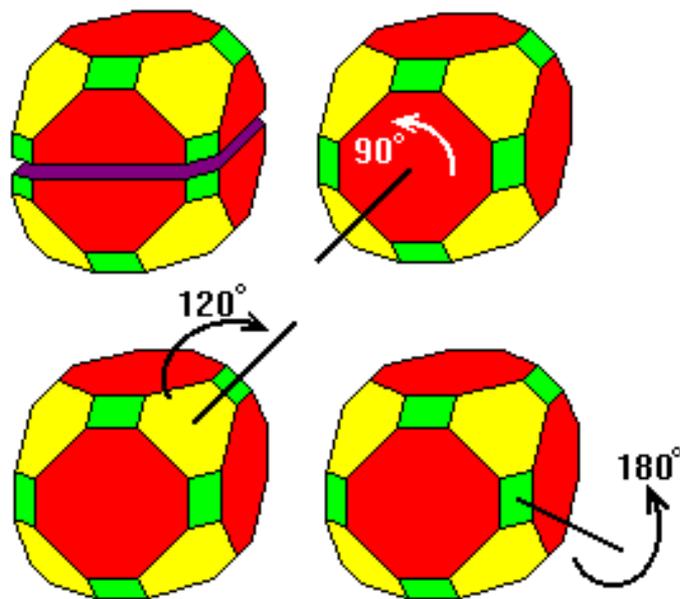
Granato grossularia in rombododecaedri →





← Combinazione di forme semplici per dare forme composte nel sistema cubico

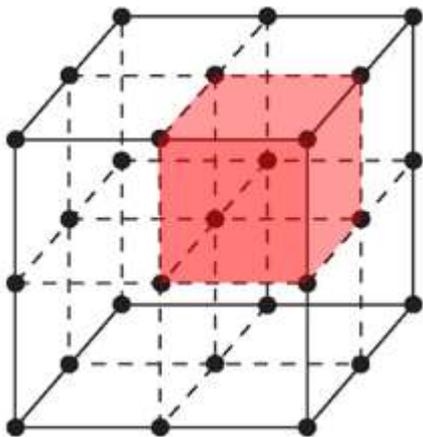
Elementi di simmetria del «cubo-rombo-ottaedro» →



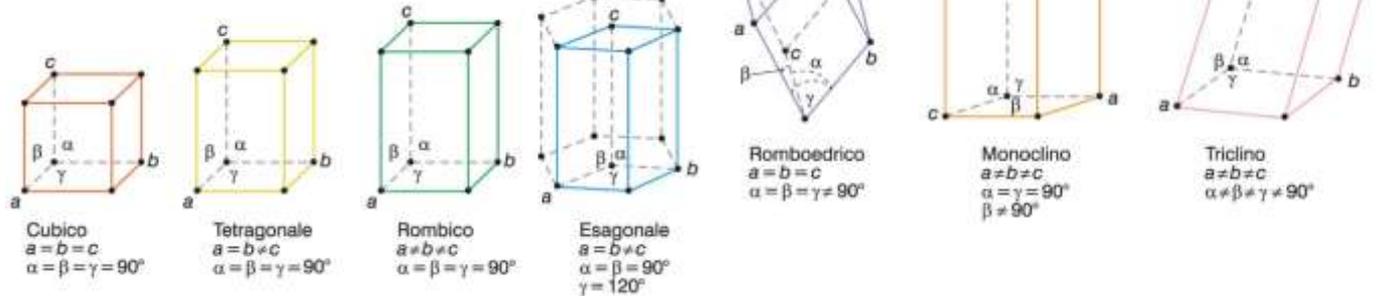
Le *celle elementari* formano quindi una impalcatura periodica in tre dimensioni, che Ludwig August **Seeber (1824)** chiamò *reticolo*.

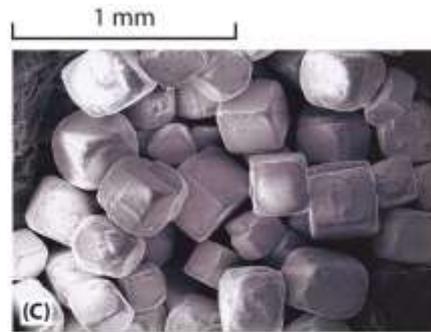
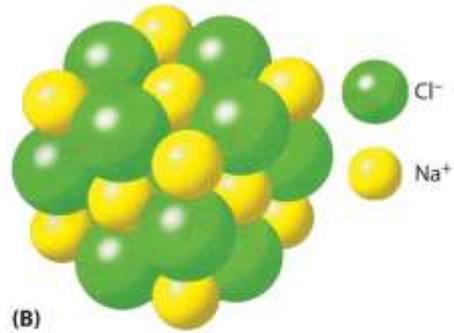
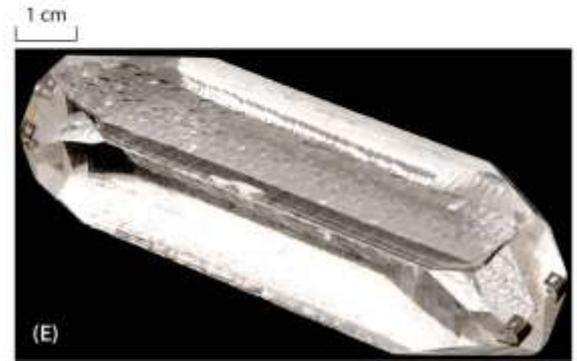
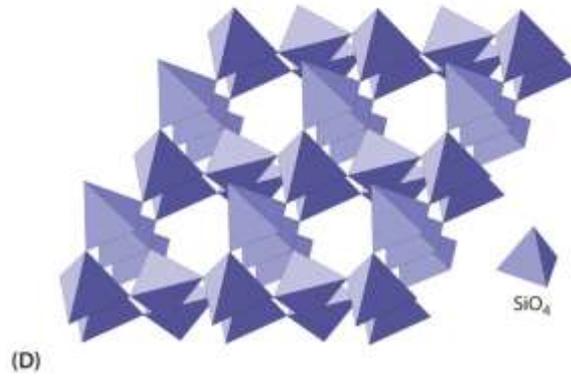
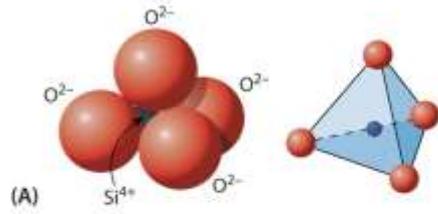
Se noi potessimo entrare in un minerale e ci ponessimo su uno dei nodi di questo reticolo, il panorama che osserveremmo sarebbe lo stesso, a prescindere dal nodo scelto.

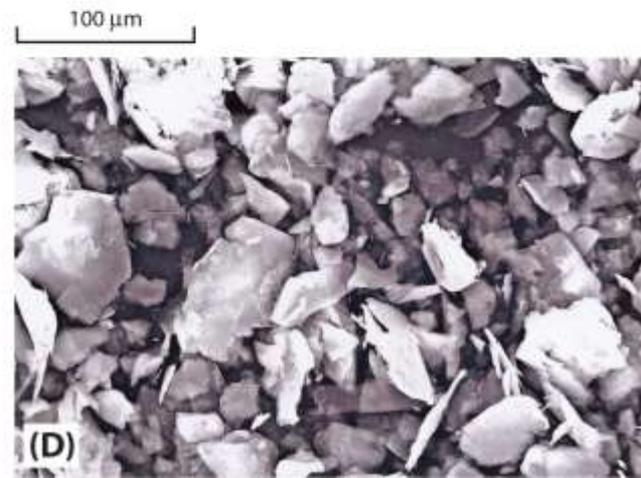
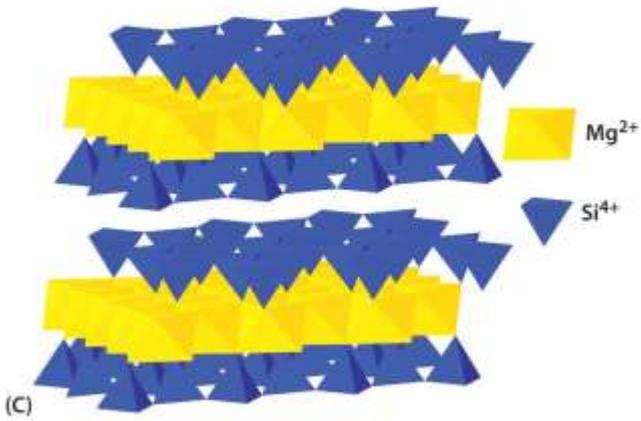
Per descrivere compiutamente la struttura interna di un cristallo sono necessari due pezzi di informazione: la geometria della cella elementare (il tipo di reticolo), ed il suo contenuto (natura e posizione degli atomi presenti). Questa informazione rappresenta la *struttura cristallina*.

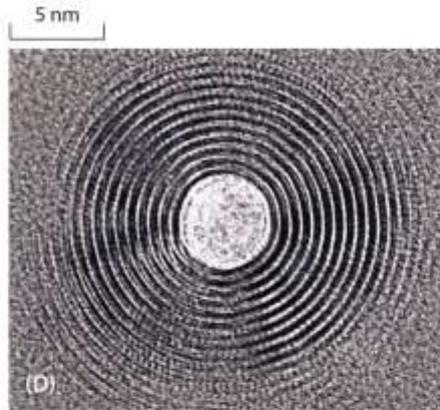
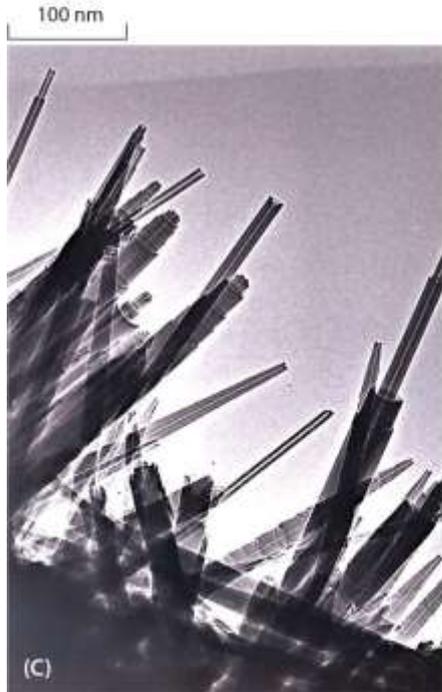
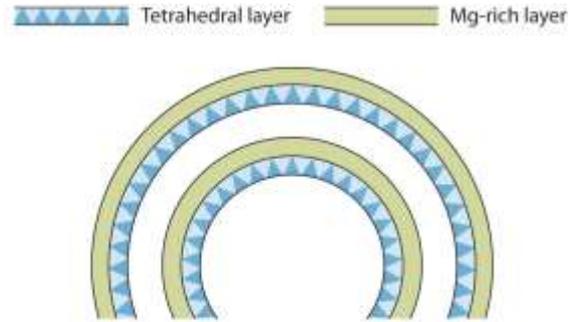


### I sette sistemi cristallini









Il minerali hanno dunque una simmetria interna che ne determina la struttura cristallina e contribuisce all'aspetto morfologico.

La **crystallografia** è la scienza che studia le strutture cristalline, che è nata con la mineralogia e che oggi è fondamentale nello studio di tutti i materiali cristallini, dai minerali, alle proteine, ai materiali tecnologici.

La struttura cristallina influenza le proprietà fisiche e chimiche dei materiali, che a loro volta determinano i campi di applicazione degli stessi.

La struttura cristallina è anche l'impronta digitale di un materiale, attraverso la quale il materiale stesso può essere identificato.

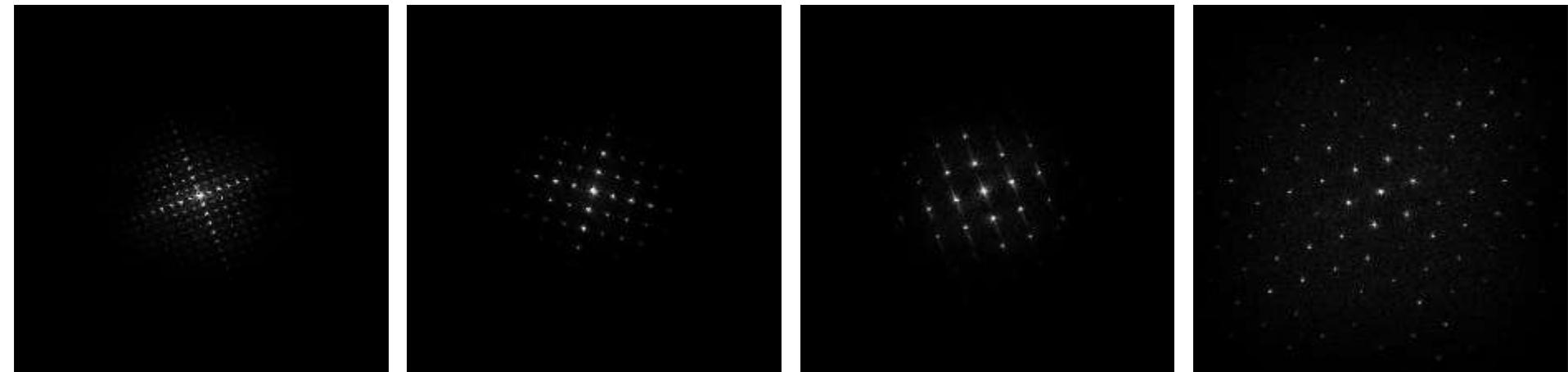
Come la luce visibile (radiazione elettromagnetica) può essere diffratta da fenditure di larghezza comparabile alla sua lunghezza d'onda (400-750 nm), le strutture cristalline (distanze interplanari 2-10 Å) possono diffrangere radiazioni elettromagnetiche di comparabile lunghezza d'onda, come i raggi X ( $\text{Cu}_{\text{K}\alpha} \sim 1.64 \text{ \AA}$ ).

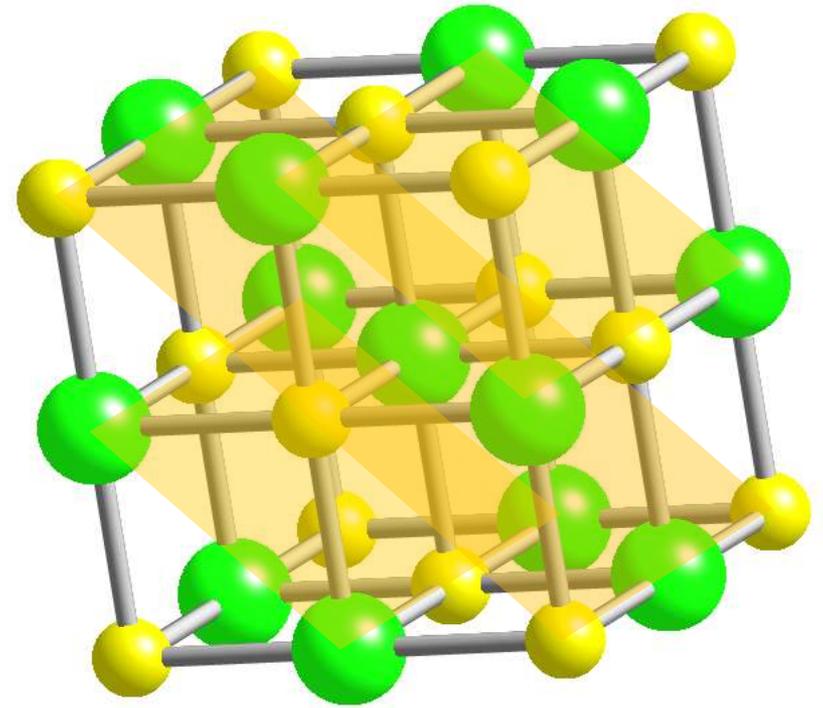
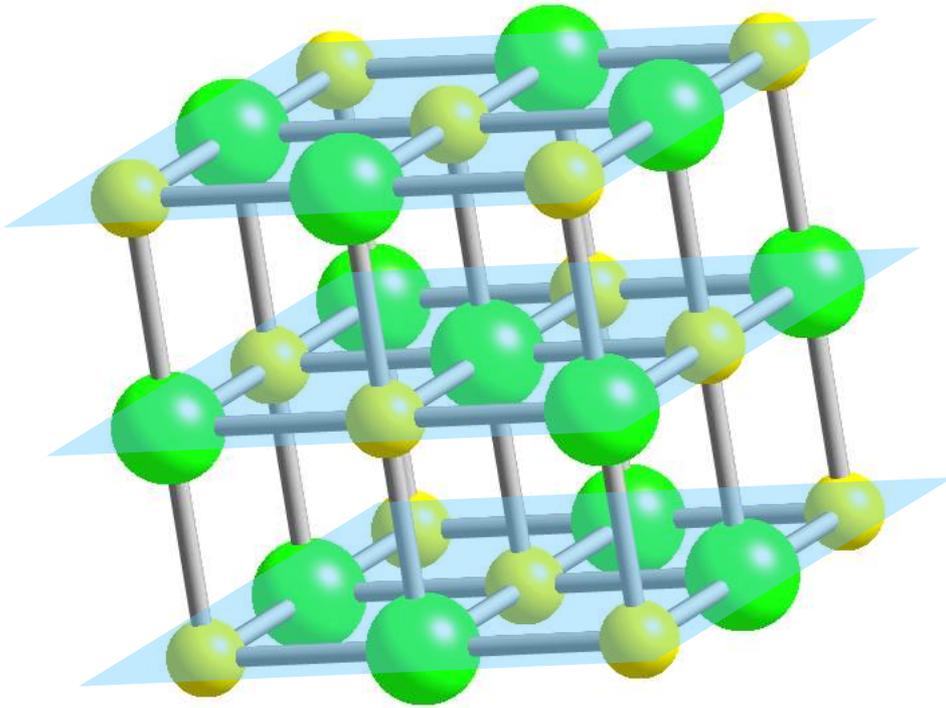
Con la diffrazione (di raggi X, elettroni, neutroni) si identificano i minerali e se ne studiano le strutture cristalline.



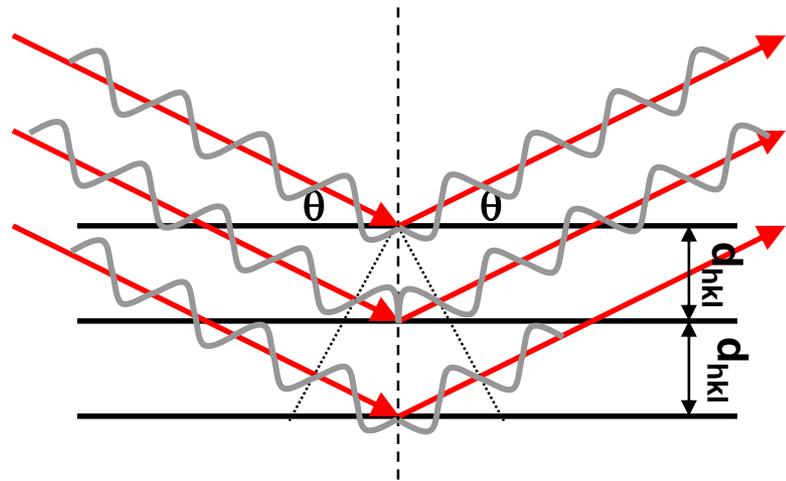
$$\Phi(\mathbf{u}) = \mathcal{F}[\varphi(\mathbf{r})] = \frac{1}{\Omega} \int_{\Omega} \varphi(\mathbf{r}) \exp 2\pi i (\mathbf{u} \cdot \mathbf{r}) dV_r$$

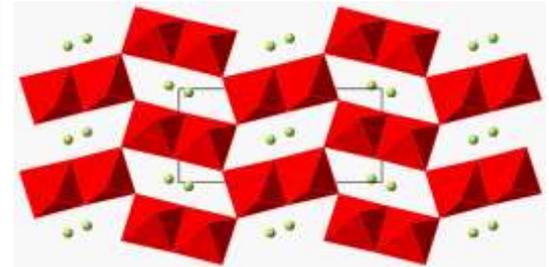
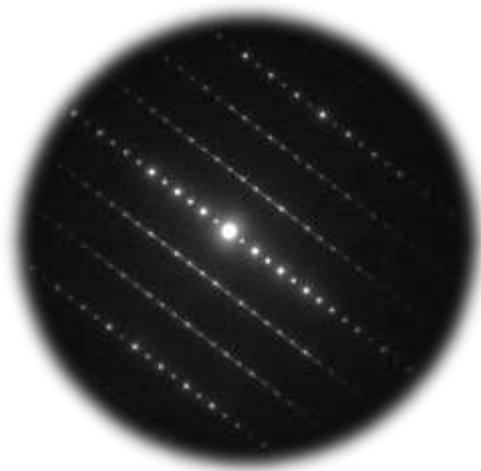
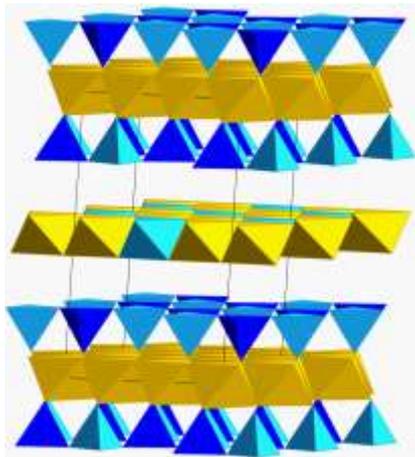
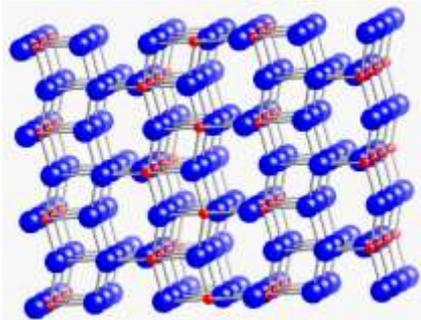
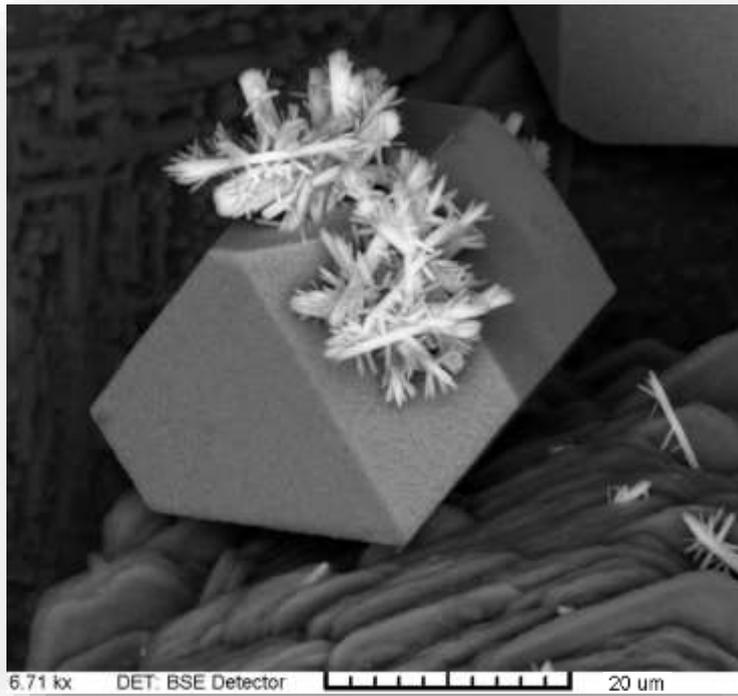
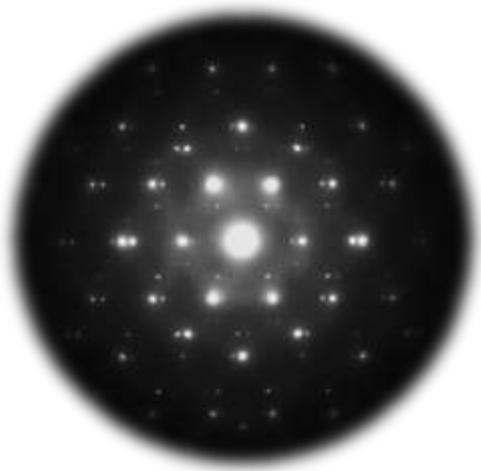
$\mathbf{u} = h\mathbf{a}^* + k\mathbf{b}^* + l\mathbf{c}^*$  vettore dello spazio reciproco;  $\Omega = a \cdot (b \times c)$  volume della cella elementare;  $dV_r = dx dy dz$

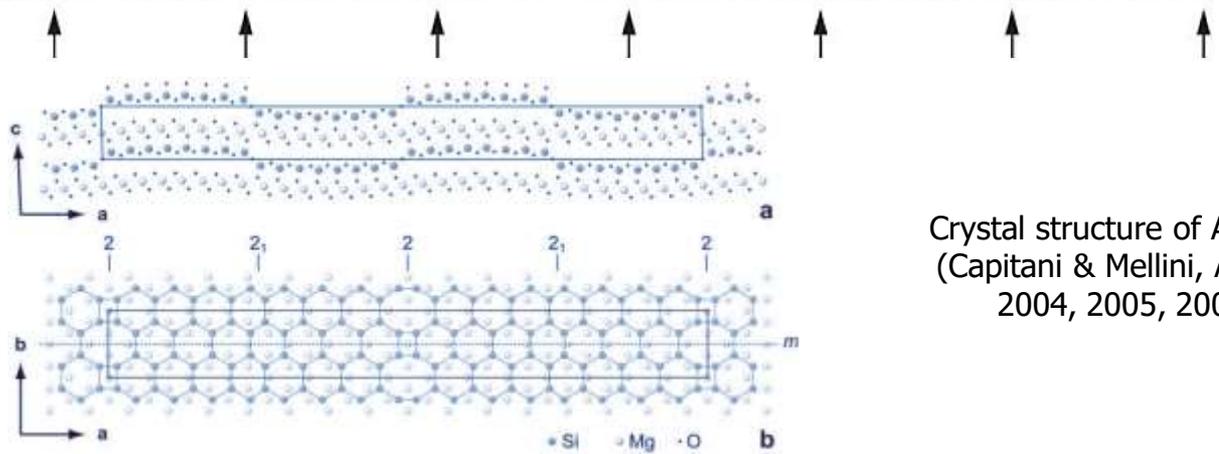
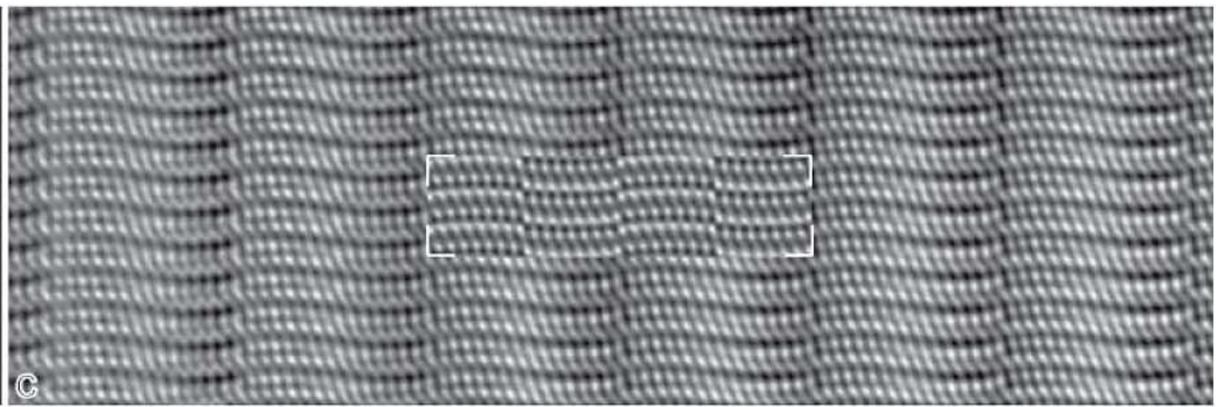
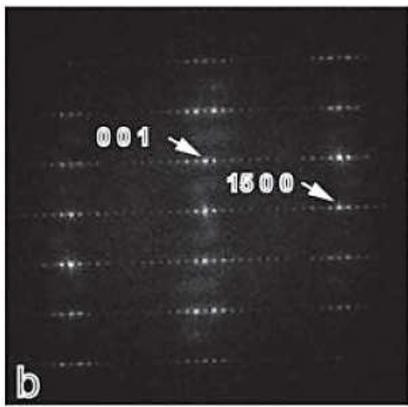




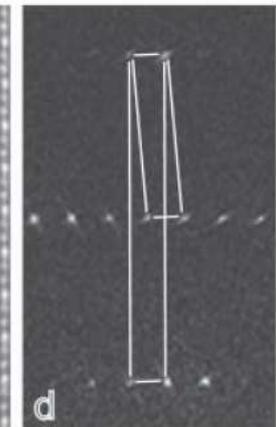
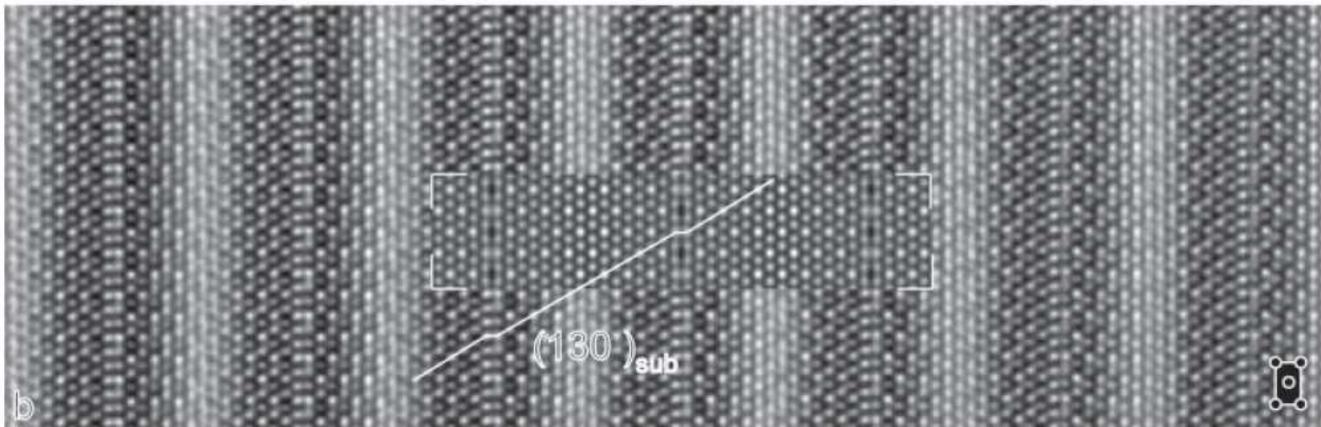
$$\lambda = 2d_{hkl} \sin \theta$$

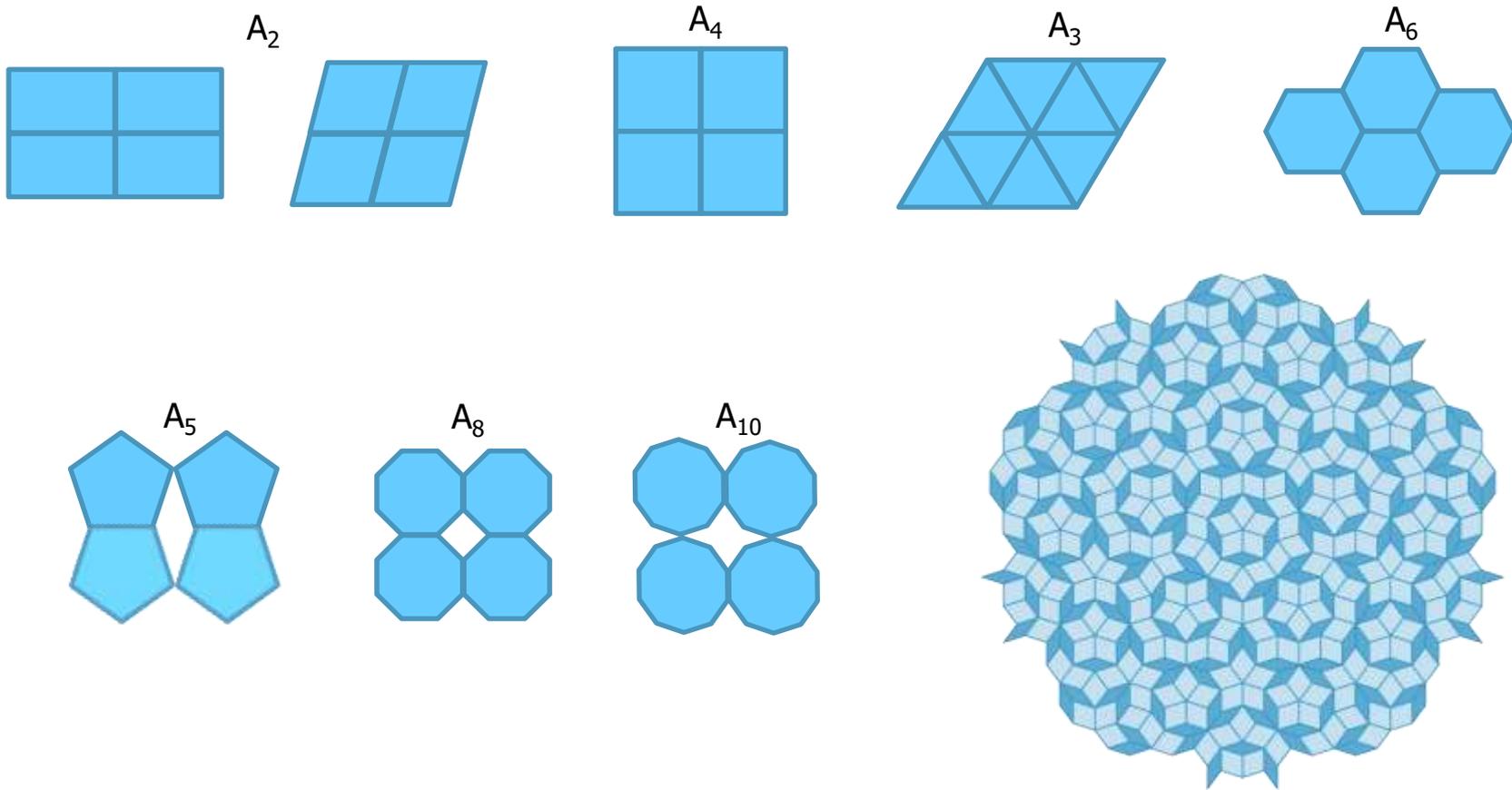






Crystal structure of Antigorite  
(Capitani & Mellini, Am. Min.,  
2004, 2005, 2006, 2007)



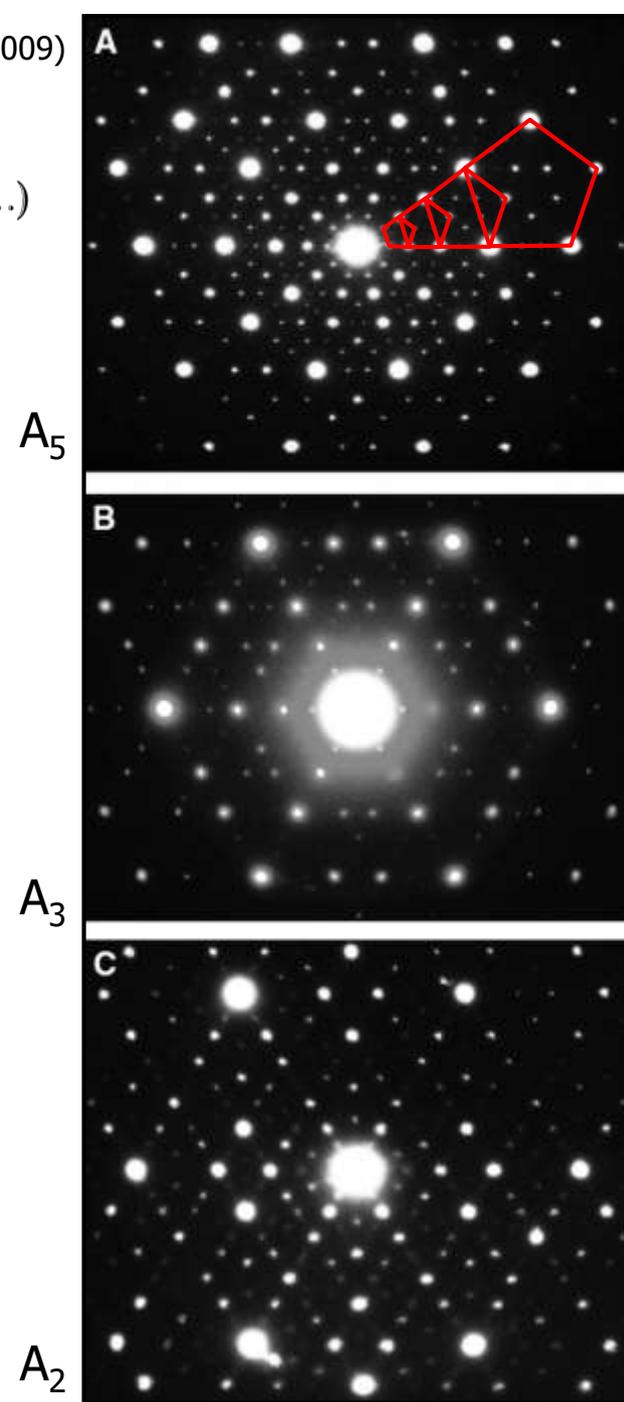
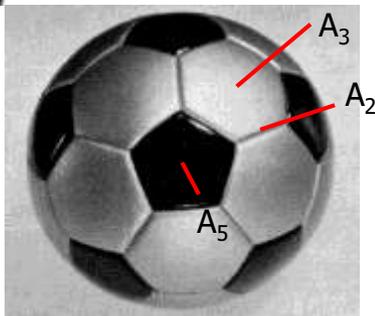
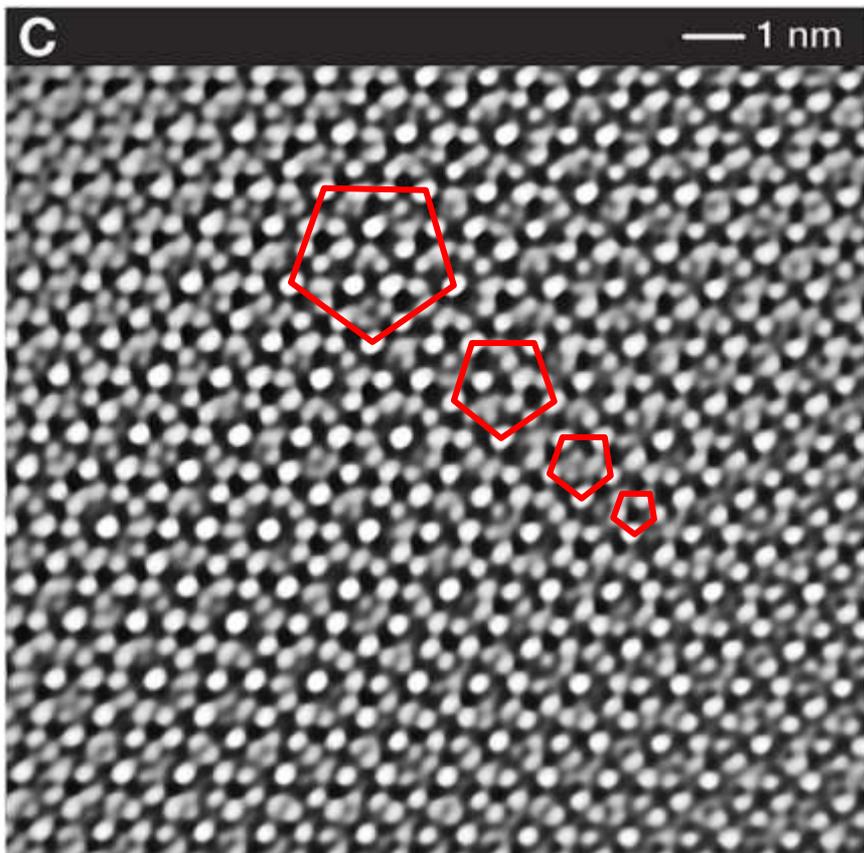


Material	Ordered	Periodic
Crystal	✓	✓
Quasicrystal	✓	✗
Amorphous	✗	✗

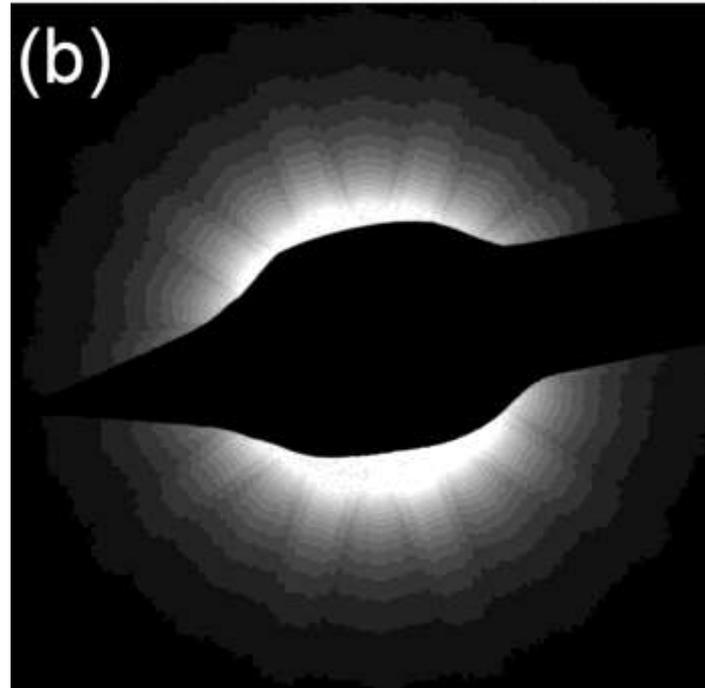
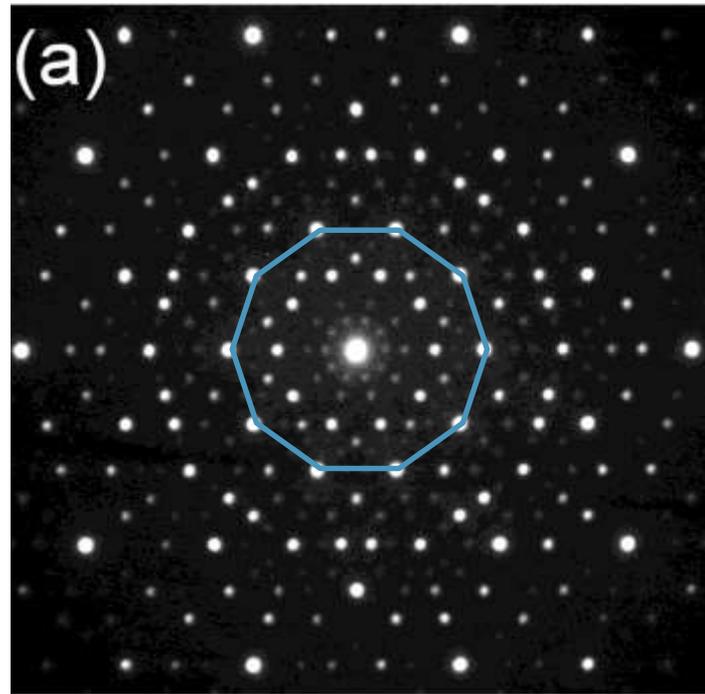
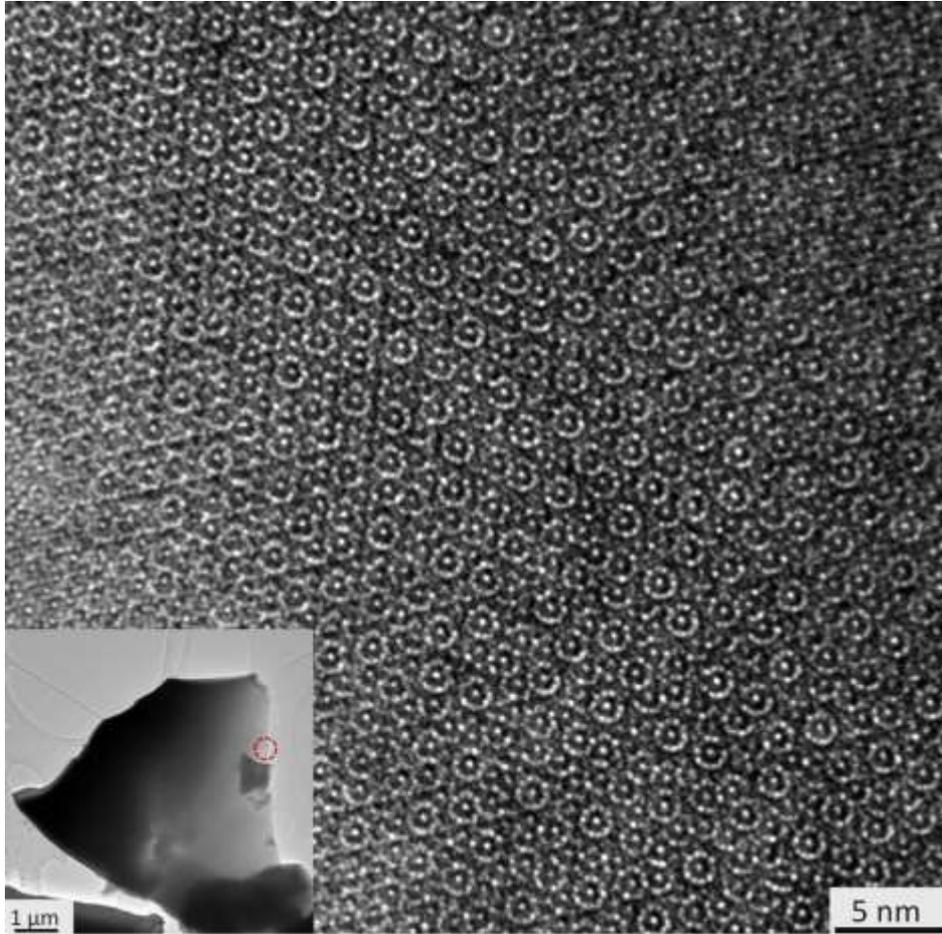
$t$	$\rightarrow$	translation
$\tau$	$\rightarrow$	Inflation (Golden Mean)
$R_C$	$\rightarrow$	rotation crystallographic (2-,3-,4-,6-fold)
$R_{CQ}$	$\rightarrow$	$R_C + (5-,8-,10-,12-fold)$

Natural quasicrystal with icosahedral symmetry (Bindi et al. Science, 2009)

I pentagoni incrementano di  $\tau = (1 + \sqrt{5})/2 = 1.618\dots$  (Golden Mean: convergenza dei rapporti nella sequenza di Fibonacci 1 1 2 3 5 8 13...)



Natural quasicrystal with decagonal symmetry  
(Bindi et al. Scientific Reports, 2015)



$A_{10}$