

Atti Mus. Civ. St. Nat. Trieste	59	2018	5/20	XII 2018	ISSN: 0335-1576
---------------------------------	----	------	------	----------	-----------------

## LA VISIONE DEI MINERALI DEL MUSEO CIVICO DI STORIA NATURALE DI TRIESTE

ENRICO FRANGIPANI

Via dei Fabbri, n. 1, 34124 Trieste – E-mail: enrico.frangipani@libero.it

**Abstract – The vision of the minerals of Trieste Natural History Museum.** Among the many objectives of an exhibition, there is not only the valorization of the specimen but also the possibility of finding correlations among different disciplines and thus contribute to a dissemination of solid scientific knowledge. This article provides ideas to reflect on some links between crystals and subjects such as cartography, geometry, chemistry, optics, history.

**Key words:** crystallography, Wulff net, gems, forms, faces.

**Riassunto –** Fra i tanti obiettivi di un'esposizione non solo vi è la valorizzazione dei campioni, ma anche la possibilità di trovare correlazioni fra discipline diverse e così contribuire alla diffusione di una solida conoscenza scientifica. Il presente articolo trova spunti per riflettere su alcuni collegamenti fra i cristalli e materie quali la cartografia, la geometria, la chimica, l'ottica, la storia.

**Parole chiave:** cristallografia, reticolo di Wulff, gemme, forma, facce.

### 1. – Introduzione

Il criterio espositivo della mostra del nuovo allestimento mineralogico del Museo di Storia Naturale di Trieste, è basato sulla cristallografia morfologica, i campioni cioè sono raggruppati per sistema di appartenenza ed esposti tutti quelli che mostrano una diversa combinazione delle forme semplici. In un recente articolo, FRANGIPANI (2016), ho accennato già a quali potessero essere alcuni spunti di riflessione sul meraviglioso mondo dei cristalli. Si trattava di tematiche classiche quali la simmetria, gli indici di Miller, località mineralogiche principali. Terminavo l'articolo con la speranza che il collezionismo scientifico potesse imporsi e contribuire a creare una "forma mentis" più tecnica, capace di comprendere e apprezzare i grandi progressi delle discipline chimico-fisiche. In un secondo articolo, scritto per il XXVI congresso dell'ANMS (2017), mi soffermavo su altri spunti di riflessione, non scientifici ma non meno importanti, che la mostra può richiamare. In esso sottolineavo come il mondo di oggi, quello del telefonino e di Internet, produca una conoscenza sintetica e frammentaria relegando in un angolino della nostra vita lo studio, la lettura, gli approfondimenti, le meditazioni e spiegavo come la valorizzazione dei campioni, attraverso il loro studio morfologico, per alcuni una proposta anacronistica, fosse proprio una ribellione a questo mondo, un volerne contrastare la corsa.

Col presente articolo, osservando i cristalli con l'occhio del matematico, del fisico, del chimico, ma anche dello storico, mi propongo di "distrarre" il visitatore, di stimolarlo ad uno studio più approfondito, di aiutarlo a trovare collegamenti fra discipline diverse e a prendere spunto per futuri approfondimenti, di provare ad indirizzarlo, certo con presunzione, verso una dimensione più alta dell'esistenza.

## 2. – I cristalli e le proiezioni

Non è certamente questa la sede per approfondire la cristallografia morfologica, voglio solo far notare però che il cristallo viene tenuto in mano e misurato solo in una prima fase dello studio, poi si utilizzano i metodi proiettivi della matematica e della geometria per rappresentarlo graficamente in due dimensioni, ruotarlo e calcolare il suo rapporto parametrico fondamentale. È la matematica, quindi, la prima disciplina che può essere collegata allo studio morfologico dei cristalli.

I cristalli, così come qualsiasi oggetto, possono essere riprodotti con un disegno assonometrico ortogonale trimetrico che ne dà un'immagine non molto diversa da quella che appare all'occhio dell'osservatore. In questo modo però, metà delle facce risultano nascoste alla vista e solo con difficoltà si può notare il parallelismo fra gli spigoli. Queste difficoltà si superano con l'uso della proiezione stereografica che venne utilizzata per la prima volta da Franz Ernst Neumann (1798, 1895), curatore delle collezioni mineralogiche dell'università di Berlino, in lavori che comparvero fra il 1823 e il 1830. Egli immaginò un cristallo al centro di una sfera (fig. 1 a) e su di essa i punti intersezione delle perpendicolari alle facce che poi proiettò al polo sud (fig. 1 b).

Ma perché al polo sud e non, per esempio, perpendicolarmente al piano equatoriale? In fin dei conti, i punti che sulla sfera sono egualmente distanziati, non lo sono più sul piano equatoriale in entrambi i casi (fig. 2).

Semplicemente perché se si cercasse di proiettare un cratere regolare, di forma tonda, su un foglio di carta, risulterebbe di forma ellittica se si utilizzasse la proiezione di fig.(2 a), e tondo se si utilizzasse quella di (fig. 2 b).

Per la pratica esecuzione della proiezione dei cristalli e dei calcoli cristallografici attorno ad essi, si utilizza il reticolo proposto nel 1909 da Georg Wulff (1863, 1925).

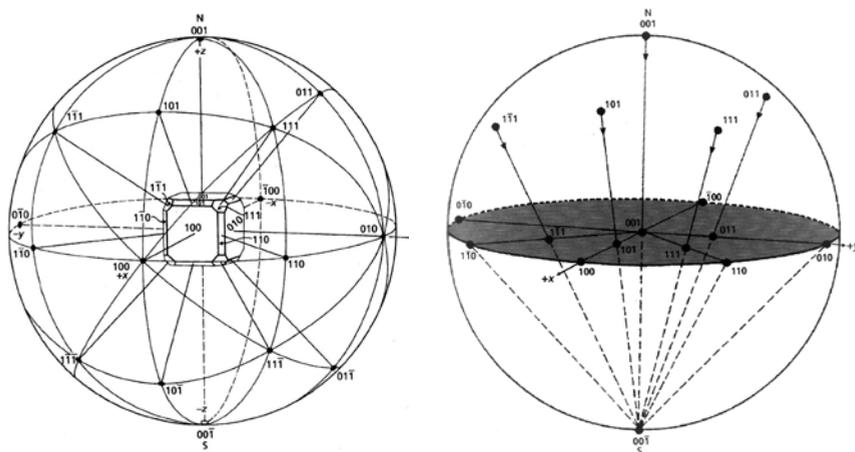


Fig. 1: (a) Proiezione sferica di un cristallo cubico e sua proiezione stereografica (b). Tratto da Hammond (2015)

Fig. 1: (a) A cubic crystal at the centre of the stereographic sphere and the position of the stereographic poles (b).

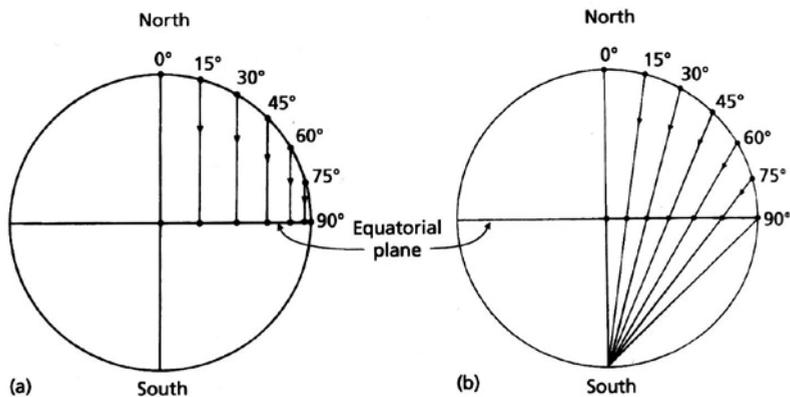


Fig. 2: Proiezione sul piano equatoriale di punti equidistanti sulla superficie terrestre. Tratto da Hammond (2015)  
 Fig. 2: Points on the surface of the earth at equal angles projected to the equatorial plane and to the south pole.

Esso non è altro che la proiezione stereografica dell'emisfero di una sfera sulla quale sono tracciati i meridiani e i paralleli e ruotata di  $90^\circ$  (fig. 3a). Generalmente ha un diametro di cm 10 e ha meridiani e paralleli tracciati ad intervalli di  $2^\circ$  (linee sottili) e  $10^\circ$  (linee grosse) (fig. 3b).

Come spunto per ulteriori approfondimenti e correlazioni, ricordo che esistono molti tipi di proiezioni, la proiezione di Mercatore, la proiezione gnomonica, la proiezione ortografica, e che tutti hanno vantaggi e svantaggi. Ad ogni buon conto, tutte si costruiscono trasformando le coordinate sferiche di punti sul globo in coordinate cartesiane su un foglio di carta.

A titolo di esempio, i calcoli seguenti sono interessanti per chi volesse utilizzare un personal computer per costruire un reticolo di Wulff.

Partendo da un punto A sulla sfera (fig. 3a) con coordinate  $(10^\circ, 128^\circ)$ , troviamo le sue coordinate cartesiane:

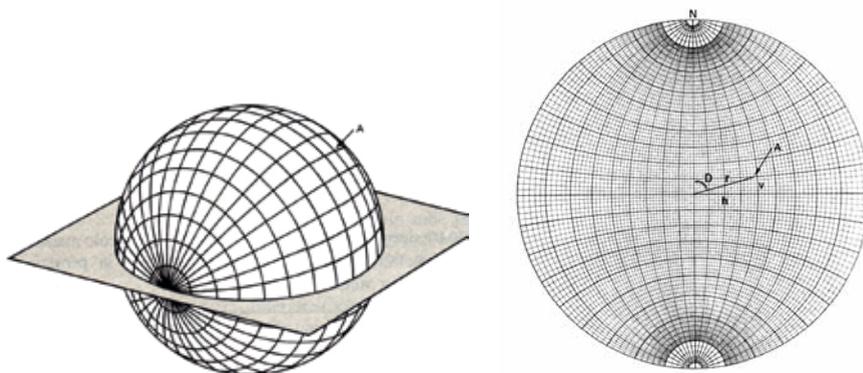


Fig. 3: (a) Sfera opportunamente orientata (b) Reticolo di Wulff.  
 Fig. 3: (a) The sphere appropriately rotated (b) The Wulff net.

$$A_x = \cos 10^\circ \cdot \cos 128^\circ = -0,606$$

$$A_y = \cos 10^\circ \cdot \sin 128^\circ = 0,776$$

$$A_z = \sin 10^\circ = 0,174$$

La distanza angolare ( $\delta$ ) di A e il suo angolo azimutale (D) sono dati da:

$$\delta = \cos^{-1} A_y = 39,1^\circ$$

$$D = \tan^{-1} (-A_x/A_z) = 73,98^\circ$$

La distanza radiale (r) di A dal centro per un reticolo di raggio 10 cm è data da:

$$r = 10 \cdot \tan(\delta/2) = 3,55 \text{ cm}$$

Infine, convertendo le coordinate polari r e D in coordinate cartesiane h (orizzontale) e v (verticale), le coordinate del punto A sulla proiezione (fig. 3b) sono:

$$h = 3,55 \cdot \sin 73,98^\circ = 3,41 \text{ cm}$$

$$v = 3,55 \cdot \cos 73,98^\circ = 0,98 \text{ cm}$$

Divagando ancora nel campo della matematica, mi vien da pensare a coloro che anziché le proiezioni, preferiscono risolvere i problemi di trigonometria sferica con l'algebra. Costoro certamente utilizzeranno i prodotti scalari di due vettori unitari perché, partendo da un'origine comune, la loro distanza angolare  $\delta$  è:

$$\delta = \cos^{-1}(A \cdot B)$$

Non sarà difficile immaginare nemmeno l'utilizzo del prodotto vettoriale per trovare il polo del cerchio massimo passante per due punti del reticolo perché il prodotto vettoriale  $A \times B$  è un vettore C perpendicolare al piano contenente A e B.

Se la matematica propone certamente molti spunti di riflessione ponendo le collezioni in una prospettiva nuova, la geometria non le è da meno perché le facce dei cristalli, equivalenti per simmetria, costituiscono un solido geometrico, alcuni così suggestivi, i solidi platonici, da diventare oggetti di studio sin dall'antichità e da ammalare artisti quali Salvador Dalí ed Escher.

### 3. – I cristalli e il loro aspetto geometrico

Hauy pensava che i cristalli fossero formati da tanti solidi elementari giustapposti e chiamò questi solidi molecole integranti, oggi sostituite dal concetto di cella elementare. Immaginava qualche cosa di simile alla figura sottostante in cui un cristallo è costruito traslando lungo gli assi X, Y e Z moltissimi parallelepipedi. Ai suoi tempi la teoria atomica non era stata ancora sviluppata e l'approccio allo studio dei cristalli era essenzialmente speculativo.

Pur avendo un cristallo molte varietà di facce, si può affermare che c'è sempre una sola forma di blocchetto elementare che le può spiegare tutte. Poiché i gradini rappresentano il margine esterno del cristallo, le facce dell'ottaedro (formate da mattoncini cubici) risultano inclinate di 54,7 gradi ( $\tan \theta = 2/2^{1/2}$ ) rispetto al piano orizzontale, mentre quelle del rombododecaedro di 45 ( $\tan \theta = 1$ ) e 90 gradi (fig. 4).

Le intercette formate dalle facce sugli assi, sono dei multipli, anche se enormi, della dimensione del mattoncino la cui forma può essere trovata misurando gli angoli fra le facce del cristallo. A titolo di esempio, proviamo a giocare con la celestina (figura sottostante) e cerchiamo di ricostruire questo minerale con i mattoncini rombici appropriati, cioè dalle corrette proporzioni.

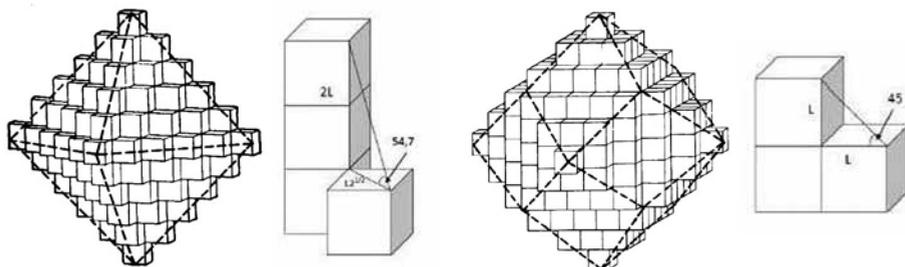
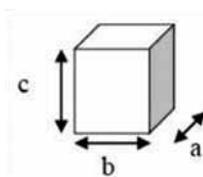
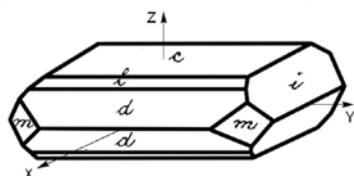


Fig. 4: Angoli, mattoncini e facce.

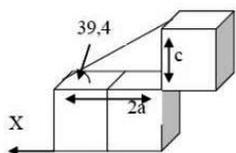
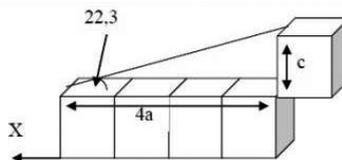
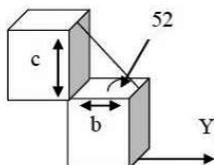
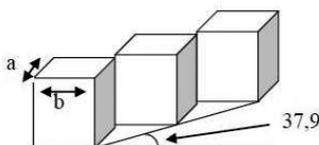
Fig. 4: Angles, bricks and faces.

Fig. 5: Celestina e il suo mattoncino.  
Fig. 5: Celestite and its brick.

Il rapporto parametrico fondamentale che esprime null'altro che i rapporti fra i lati del mattoncino, si può trovare misurando due angoli. Il primo è quello che la faccia *m* forma con l'asse *Y* ( $37,9^\circ$ ) e il secondo quello che la faccia *i* forma con l'asse *Y* ( $52^\circ$ ). Quindi:

$$a/b = \tan 37,9 = 0,779 \text{ e } c/b = \tan 52 = 1,28 \text{ da cui } c/a = 1,28/0,779 = 1,643$$

A questo punto, traslando e disponendo i mattoncini in modo opportuno, ottengo gradinate inclinate come le facce del cristallo. I rapporti staccati da ogni singola faccia vengono poi indicizzati rapportandoli al rapporto parametrico fondamentale.

faccia *d* [indicizzata (102) perchè  $\tan 39,4 = 1/2 c/a$ ]faccia *l* [indicizzata (104) perchè  $\tan 22,3 = 1/4 c/a$ ]faccia *i* [indicizzata (011) perchè  $\tan 52 = c/b$ ]faccia *m* [indicizzata (110) perchè  $\tan 37,9 = a/b$ ]

Si deve al Bravais (1850) la sostituzione del concetto di molecole integranti con quello di reticolo cristallino. Secondo Bravais le molecole erano disposte in filari che nelle due dimensioni formavano un piano reticolare e nelle tre dimensioni un reticolo. Quindi ogni cristallo è composto da celle elementari di un unico tipo poste le une sulle altre e una a fianco dell'altra le cui dimensioni sono date proprio dal rapporto parametrico fondamentale.

#### 4. – I cristalli e il loro aspetto esteriore

Disquisire sul tratto dei cristalli o sul loro habitus, cercando di capire quali possano esserne i fattori condizionanti, significa entrare in un mondo ancora poco conosciuto, ma a giudizio di chi scrive, potenzialmente capace di fornire molte indicazioni di significato geologico - ambientale. Forse molti visitatori, ignari di quanto sia complesso organizzare esperimenti controllati, potrebbero dispiacersi di non avere tutte le risposte, non capiscono però che l'avanzamento della scienza sta proprio nella nostra curiosità di scoprire ciò che non sappiamo ancora.

Poiché le facce dei cristalli rappresentano un piano reticolare, nel poliedro cristallino, non possono essere disposte a caso, con inclinazioni casuali, ma devono rispettare il fatto di essere parallele ad esso. Ciò implica che le facce si accrescano con velocità diverse, che lo sviluppo delle facce sia tanto maggiore quanto più denso di particelle è il piano reticolare corrispondente e che alla fine del suo processo di accrescimento un cristallo sia circondato da quelle facce che crescono più lentamente.

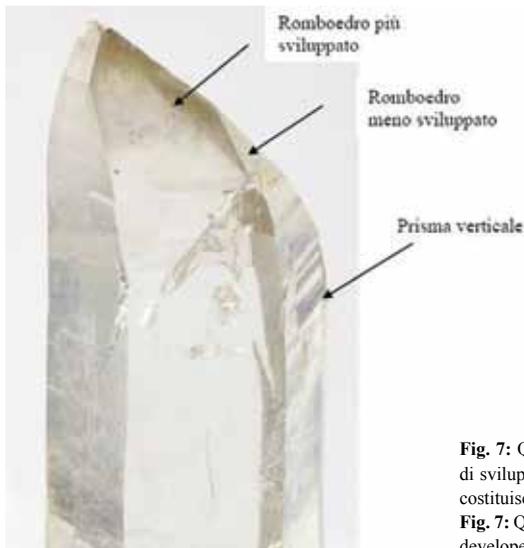
Un cristallo di galena, ad esempio, inizialmente ottaedrico, crescendo, tenderà a trasformarsi in un cristallo cubico poiché la faccia con la più lenta velocità di crescita è quella del cubo.

Anche nel quarzo valgono le considerazioni di cui sopra, le diverse velocità di accrescimento ( $R$ ) delle sue facce, ne determinano l'aspetto. Le facce più comuni



Fig. 6: Cristallo di galena, habitus ottaedrico e cubico a destra (MR 2281 e MR 588).

Fig. 6: Galena, octahedron and cube (MR 2281 e MR 588).

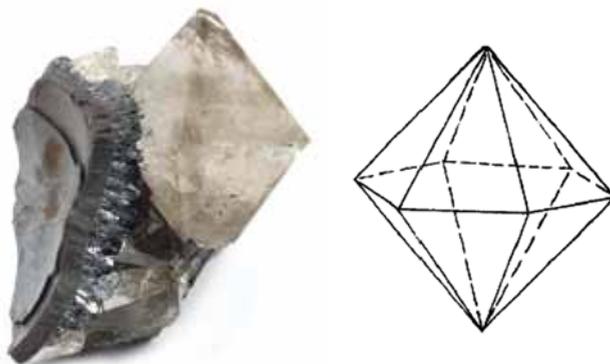


**Fig. 7:** Quarzo. Si noti il diverso grado di sviluppo delle forme semplici che lo costituiscono. MR 311

**Fig. 7:** Quartz. The faces are not equally developed.

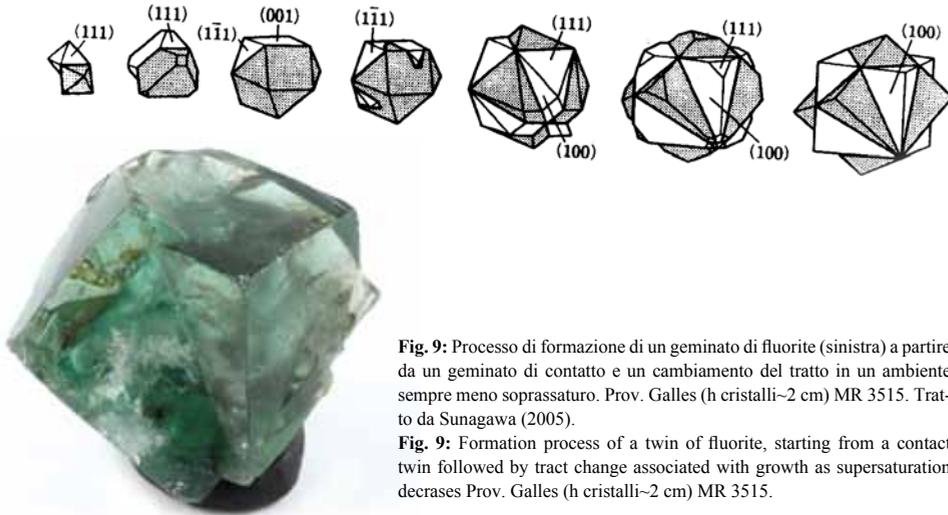
(fig. 7) sono quelle di tre forme semplici, del prisma  $m$  e dei due romboedri  $r$  (più sviluppato) e  $z$  (meno sviluppato). Generalmente  $R_m < R_r < R_z$ . Quando  $R_m$  è molto più piccola di  $R_z$  il cristallo assume un abito prismatico mentre se  $R_r \ll R_z$  il romboedro  $z$  sparisce e il cristallo termina con solo le tre facce del romboedro  $r$ .

Le velocità di accrescimento variano a seconda delle caratteristiche fisico-chimiche dell'ambiente in cui i cristalli si accrescono, ad esempio i cristalli di quarzo privi delle facce  $m$  (es. fig. 8) crescono a più alta temperatura in magmi acidi e ancora, in soluzioni con NaCl il rapporto  $R_{r,z} : R_m$  è dieci volte più alto di quello osservato in soluzioni con NaOH o KOH. Guardando i cristalli esposti, potrà notarsi che le facce



**Fig. 8:** Quarzo dall'apparente forma di bipiramide esagonale, privo delle facce  $m$ . (h-cm 3) MR 2718.

**Fig. 8:** Quartz in the form of a false hexagonal bipyramid without  $m$  faces (h-cm 3) MR 2718.



**Fig. 9:** Processo di formazione di un geminato di fluorite (sinistra) a partire da un geminato di contatto e un cambiamento del tratto in un ambiente sempre meno soprassaturato. Prov. Galles (h cristalli~2 cm) MR 3515. Tratto da Sunagawa (2005).

**Fig. 9:** Formation process of a twin of fluorite, starting from a contact twin followed by tract change associated with growth as supersaturation decreases Prov. Galles (h cristalli~2 cm) MR 3515.

m del prisma siano leggermente curve. La spiegazione più accreditata è che ciò sia dovuto ad impurità, ad esempio la presenza di ioni  $\text{Fe}^{3+}$  in soluzione, che ne hanno impedito una crescita regolare.

L'osservazione delle varie forme dei cristalli può condurre anche a molte considerazioni di tipo chimico. Le condizioni ambientali possono favorire o sfavorire alcune forme rispetto ad altre così come la soprassaturazione delle soluzioni influenza l'abito di molti minerali.

La velocità di crescita delle facce del cubo dei cristalli di pirite, crescono meno velocemente di quelle del pentagonododecaedro quindi quando la pirite si accresce in condizioni favorevoli, ad esempio nelle zone centrali di un deposito con alta fugacità di zolfo, i cristalli sono pentagonododecaedrici, mentre sono cubici se i cristalli si accrescono più lentamente in condizioni più sfavorevoli, ad esempio nelle zone periferiche della miniera. Sono ottaedrici se formati in condizioni favorevoli e ricchi di arsenico, elemento questo che ne condiziona fortemente il tratto.

In (fig. 9) è raffigurata l'ipotetica formazione di un geminato di fluorite. Esso inizia a formarsi in un ambiente fortemente soprassaturato e favorevole ad un'alta velocità di crescita. Via via che la soprassaturazione diminuisce, i due cristalli ottaedrici, uniti secondo una faccia, si accrescono cambiando il loro abito da ottaedrico a cubico.

## 5. – Le gemme e la storia

Di fronte alla vetrinetta delle gemme, generalmente, a prevalere, sono i criteri estetici ma richiamate alla mente sono anche tante storie di scoperte, credenze, avventurieri, cercatori e finanziari.

Il diamante, per esempio, può evocare zone lontane, quali il Sudafrica, dove nel 1866 fu trovato per la prima volta, e grandi personalità, quale fu Cecil Rhodes che nel



**Fig. 10:** Diamante grezzo dall'habitus ottaedrico. (h~cm 0.5) MR 3495.

**Fig. 10:** Natural diamond, octahedron (h~cm 0.5) MR 3495.

**Fig. 11:** Smeraldo Prov. Habachtal (Austria) (h~cm 1.5) MR 3565.

**Fig. 11:** Emerald Prov. Habachtal (Austria) (h~cm 1.5) MR 3565.

1880 fondò la De Beers Mining Company e con l'aiuto dei banchieri Rotschild, finì col mettere sotto il suo controllo, nel 1888, la maggior parte delle miniere sudafricane, operando di fatto, sul mercato di queste pietre, in regime monopolistico.

Della vetrinetta non può non colpire lo smeraldo, minerale di colore verde, che gli antichi dedicavano alla dea Venere, già in commercio nel 4000 a.c. Collegato a molte superstizioni e simbolo dell'immortalità e della fede. Come non collegarlo alle cosiddette miniere di Cleopatra, situate in Egitto presso il Mar Rosso, perdute nel Medioevo e poi ritrovate nel 1818 da Cailliaud a soli 26 Km dal Mar Rosso, a 160 Km a nord est di Assuan. Come non immaginare la fatica immane di quegli antichi uomini, siamo ai tempi di Sesostri (1650 a.c.) che scavarono centinaia e centinaia di pozzi e che probabilmente persero la vita per queste pietre. Nella vetrinetta non sono esposti gli smeraldi egiziani, e neppure quelli più belli del mondo delle Ande Colombiane, ma quelli dell'Habachtal in Austria, trovati in un luogo quasi inaccessibile, a 2300 m di quota, ma i pensieri evocati saranno sempre gli stessi, zone lontane, fatica, avventura, morte.

## 6. – Le gemme e l'ottica

L'osservazione delle gemme potrebbe far tornare alla mente qualche nozione sulla luce e il suo comportamento quando dall'aria passa in mezzi più densi. La luce del sole è solo apparentemente bianca ma in realtà è formata da un insieme di radiazioni visibili che occupano una banda compresa fra gli 800 nm, regione del rosso e i 400 nm, regione del violetto.

Nell'attraversare un prisma viene scomposta nei suoi componenti di colore e deviata, in misura maggiore per il blu e minore per il rosso.

Considerando il comportamento ottico della luce nei mezzi isotropi ed anisotropi, con un dicroscopio potremmo verificare che i cristalli, detti pleocroici, possono mo-



**Fig. 12:** Prisma che scompone la luce bianca.  
**Fig. 12:** A prism and the white light resolution.

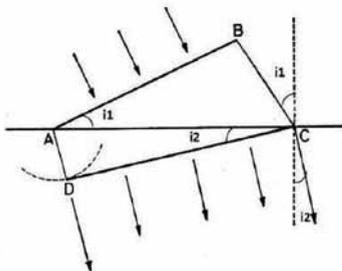


**Fig. 13:** Fenomeno della doppia rifrazione della calcite (MR 3674) (1 campione ~cm 5).  
**Fig. 13:** The light double refraction of Calcite (MR 3674) (1 campione ~cm 5).

strarsi con colori diversi a seconda della direzione da cui li si osserva. Questo fenomeno è legato alla loro struttura cristallina e alla loro simmetria. I cristalli cubici quali granati, spinelli, diamanti presentano un colore solo, anche se osservati da direzioni diverse. I cristalli appartenenti ai sistemi esagonale, trigonale e tetragonale come il rubino e lo smeraldo, possono presentare due colori mentre quelli dei sistemi rombico, monoclinico e triclino, come il topazio e la cordierite, addirittura tre colori diversi. Ciò è dovuto al comportamento di un raggio luminoso che si sdoppia in due raggi che hanno diverse velocità e che vibrano su piani diversi. Nella vetrinetta del sistema trigonale la formazione della doppia immagine di uno scritto, segnato su un foglio di carta, osservato attraverso un romboedro di calcite, è molto chiara (fig. 13). La scrittura, al ruotare della calcite, può vedersi sdoppiata, sdoppiata e spostata lateralmente o non sdoppiata se osservata lungo l'asse di principal simmetria che è direzione di monorifrangenza.

Poc'anzi abbiamo ricordato che la luce, nel passare dall'aria al minerale, più denso, subisce una deviazione la cui misura ci permette di ottenere l'indice di rifrazione di quel minerale cioè il rapporto tra la velocità della luce nell'aria ( $v_1$ ) e la velocità della luce in quella sostanza ( $v_2$ ). (Legge della rifrazione:  $v_1/v_2 = \sin i_1 / \sin i_2$ )

Ad esempio, poiché l'indice di rifrazione del diamante è di 2,42 e la velocità della luce nel vuoto è di 300000Km/sec, ne risulta che la velocità della luce in questa pietra è di soli 124000 Km/sec cioè la luce, nel diamante, rallenta la sua velocità di quasi 2/3. Poiché l'indice di rifrazione varia a seconda della lunghezza d'onda utilizzata, per la sua misura, si è convenuto di utilizzare la lunghezza d'onda della luce gialla del sodio che è di 589 nm.



**Fig. 14:** Rifrazione delle onde piane sulla superficie che separa un mezzo in cui la velocità delle onde è  $v_1$  da un mezzo in cui la velocità delle onde è  $v_2$  ( $v_1 > v_2$ ). I raggi sono deviati verso la normale alla superficie.

**Fig. 14:** The light refraction due to materials of different velocities ( $v_1 > v_2$ ). The light turns towards the perpendicular.

## 7. – Le gemme e il colore

Il colore è la caratteristica che più di ogni altra colpisce in una gemma. L'argomento colore è vasto e complesso e non può non richiamare alla mente tante nozioni di fisica imparate sui banchi di scuola.

Varietà diverse di uno stesso minerale hanno colori diversi, blu è lo zaffiro mentre rosso è il rubino ma anche il quarzo può essere giallo o bruno o viola e il berillo essere verde o azzurro così come la tormalina che può essere verde, rossa e anche policroma. Pur se l'argomento colore è complesso e senz'altro ancora oggetto di discussione, per alcuni minerali lo possiamo associare agli elementi presenti in traccia nella loro struttura. Molto probabilmente il colore del rubino è dovuto a tracce di cromo che, nella struttura cristallina, può sostituire l'alluminio, mentre il blu dello zaffiro è dovuto a tracce di ferro e titanio anche se non è escluso che alla colorazione possa partecipare anche il cromo.

In altri casi il colore è una diretta conseguenza di quegli elementi espressi dalla formula chimica come per il granato almandino, rosso o il peridoto, verde o il lapislazzuli, blu.

In altri casi ancora il colore è legato alla struttura della sostanza. I lampi di colore dell'opale, ad esempio, sono legati all'impilamento regolare, anche se con lacune, di sfere uniformi di silice amorfa, che costituiscono un reticolo di diffrazione tridimensionale. La massima lunghezza d'onda che può essere diffratta dipende dal diametro delle sfere, quelle piccole possono diffrangere soltanto la luce blu, mentre quelle di diametro maggiore possono diffrangere anche la luce rossa e tutti gli altri colori di lunghezza d'onda più piccola.



**Fig. 15:** Opale dal raro colore rosso (aranciate in foto per motivi prospettici osservazionali). Prov. Australia (h~cm 3) MR 3893.

**Fig. 15:** Opal and a rare red colour Prov. Australia (h~cm 3) MR 3893.



**Fig. 16:** Alessandrite Cristallo esposto alla luce diurna (più blu) e alla luce di una lampadina di tungsteno (più rossa). Evidente il fenomeno del metamerismo di questa varietà molto rara di crisoberillo degli Urali. (h-cm 3) MR 1817.

**Fig. 16:** Alexandrite, rare variety of chrysoberyl, displayed under sun light and tungsten bulb. The metamerism is clear. (h-cm 3) MR 1817.

Il colore di un corpo dipende dalla luce con cui lo osserviamo, dal corpo stesso e dal nostro occhio. Il colore di un minerale è dato da come esso è in grado di assorbire selettivamente le radiazioni che lo attraversano, principalmente nel campo del visibile, semplificando, tutti i corpi colorati traggono il loro colore dalla luce che viene riflessa o trasmessa da essi. Se ad esempio un vetro trasmettesse solo i raggi rossi assorbendo tutte le altre lunghezze d'onda, apparirebbe rosso o se la luce da esso riflessa fosse blu, apparirebbe blu.

Quando si osserva il colore di una gemma, la sorgente luminosa è importantissima. Lo zaffiro ad esempio, può apparire meno colorato se osservato con la luce di una lampadina ad incandescenza che è più rossa, mentre, al contrario, sotto questa stessa luce, il colore del rubino diventa più intenso. Un effetto interessante è quello osservabile nell'alessandrite, un minerale trasparente nel rosso. Poiché i colori rosso e verde prodotti dal cromo che si trova in tracce nella sua struttura, si equilibrano, in luce solare, ricca di raggi verdi, la pietra appare verde, mentre in luce artificiale, ad esempio quella di una lampadina ad incandescenza, più ricca di rosso, appare di colore rosso.

Anche se ai più il colore di un minerale appare stabile, immutabile nel tempo, vero è che molte pietre colorate lo possono cambiare se sottoposte a trattamento termico o alle radiazioni. Il quarzo ametista diventa giallo se riscaldato in condizioni controllate o anche verde quello che proviene da Montesuma, in Brasile. Il topazio bruno del Brasile può assumere un colore rosa se riscaldato a 350-450 °C, così come l'acquamarina verdastra può assumere una colorazione azzurro cielo se sottoposta ad una simile temperatura.

Importantissimi per il commercio delle pietre preziose sono i cambiamenti di colore indotti nel rubino e nello zaffiro. Vista la scarsità di pietre eccellenti da immettere sul mercato, negli anni quaranta del secolo scorso sono state aumentate le pietre vendibili con diversi tipi di trattamento termico. Il colore eccessivamente scuro degli zaffiri dello Sri Lanka è stato attenuato sottoponendo le pietre, in ambiente ossidante, a temperature molto alte, intorno ai 1600 °C. Ciò provoca un cambiamento dello stato di ossidazione

del ferro che, assieme al titanio è ritenuto responsabile del colore blu della gemma. Spesso le variazioni di colore sono accompagnate da variazioni degli spettri di assorbimento e della fluorescenza. Lo spettroscopio è lo strumento che permette di scomporre la luce nei suoi colori costituenti generando lo spettro. Se si analizza con attenzione la luce che passa attraverso una gemma, spesso si possono vedere righe scure che occupano il posto di certe zone dello spettro. Talvolta queste righe sono utili per identificare le gemme così come i trattamenti da esse subiti. Anche se non facilmente rilevabile, il trattamento termico dello zaffiro, diminuisce l'intensità della banda di assorbimento a 450 nm e crea una fluorescenza verde pallido agli ultravioletti a onda corta.

Probabilmente anche una grande percentuale di rubini immessi sul mercato è stata migliorata da un trattamento termico. Rubini, già sfaccettati e puliti ma dal colore pallido, sono stati migliorati sottoponendoli ad una temperatura di 1750 °C, in ambiente ossidante e immergendoli anche in polvere di ossido di alluminio contenente ossido cromico e di titanio.

Corindoni naturali incolore possono assumere una tinta giallo carico quando vengono trattati con raggi X, salvo però perdere questo colore se esposti alla luce solare e cristalli di Kunzite, da rosati, possono passare a verdi se esposti ai raggi X. Anche il diamante, se esposto alle radiazioni dei sali di radio o al gas radon, può cambiare il suo colore, diventa verde e radioattivo, e rimane tale per alcuni anni.

Alcune pietre, esposte nella vetrinetta, mettono in evidenza il gatteggiamento. Il quarzo occhio di gatto, che si rinviene nelle ghiaie gemmifere dello Sri Lanka, deve il gatteggiamento a tantissime fibre sottilissime di amianto isoorientate che riflettono la luce mentre l'occhio di tigre lo deve alla struttura fibrosa della crocidolite (amianto azzurro), alterata e saldata in una massa solida dalla silice.

Altro effetto ottico particolare è l'adularescenza, visibile osservando la pietra di luna, una varietà di adularia, anch'essa proveniente dallo Sri Lanka, in cui la riflessione della luce avviene sugli strati alternati di albite e ortoclasio. Molto belli sono anche i giochi di luce della labradorite causati dall'interferenza della luce che colpisce le sottili lamelle di geminazione polisintetica di questo minerale. L'effetto è visibile soltanto sui piani di sfaldatura o sulle superfici levigate parallelamente ad essi. I colori che lampeggiano sono i blu e i verdi.



**Fig. 17:** Quarzo occhio di gatto tagliato a cabochon (h-cm 0.5) MR 4620.



**Fig. 18:** Labradorite (vetrinetta gemmologica) MR 1874.

**Fig. 17:** Quartz cabochon and its light effect (h-cm 0.5) MR 4620.

## 8. – Gemme e geologia

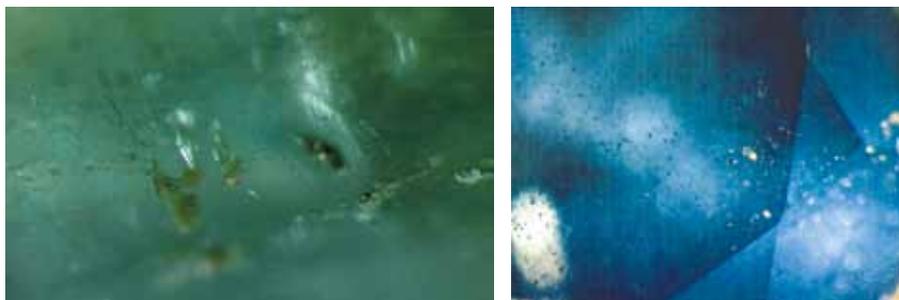
Se osservassimo le gemme nei dettagli ci accorgeremmo che alcune loro caratteristiche dipendono proprio dall'ambiente in cui si sono formate, suggerendoci la loro provenienza. Premettendo che le gemme, come tutti i minerali, si possono accrescere solo se sono disponibili gli elementi chimici che costituiscono la loro struttura cristallina e la giusta pressione e temperatura, sono quattro i tipi di processi geologici che portano alla loro formazione. Quelli magmatici, legati alla solidificazione di un magma, quelli metamorfici, legati alla trasformazione delle rocce ad opera di variazioni di temperatura e pressione, quelli sedimentari, legati a soluzioni che filtrando nel terreno variano i loro equilibri chimici, e infine quelli organogeni, legati ad organismi viventi. Se il corallo, l'avorio, l'ambra, le perle sono chiaramente legati al regno animale o vegetale e la malachite, l'opale e la turchese ad acque di percolazione, più difficile è scegliere dove inserire il berillo. Questo minerale e la sua varietà acquamarina si ritrovano in cavità e druse di graniti e di pegmatiti granitiche. Minerali a loro associati possono essere il quarzo, il feldspato, la muscovite, la tormalina, il topazio, lo spodumene, la columbite etc. Quindi il berillo si forma nei fluidi magmatici residuali ma la sua varietà smeraldo si rinviene in micascisti e in marmi e quelli più pregiati, colombiani, in vene di calcite che attraversano calcari bituminosi. Anche il corindone ha una genesi complessa. Può trovarsi in pegmatiti associate a sieniti nefeliniche come nell'Ontario, in Canada, ma anche ritrovarsi nelle xenoliti alluminifere dei filoni tholeiitici come nell'isola di Mull, in Scozia e in depositi bauxitici sottoposti a metamorfismo termico o regionale come nelle isole Egee, in Grecia.

Questa diversità degli ambienti di formazione si riflette nelle caratteristiche interne della gemma. Ad esempio il rubino pakistano che si rinviene in un marmo contenente pirite, mostra inclusioni di calcite e di pirite, quello Birmano, rinvenuto in rocce dolomitiche legate ad un metamorfismo di contatto, mostra inclusioni aghiformi di rutilo, apatite e dolomite o ancora, i rubini dello Sri Lanka, mostrano zirconi, pirite e rutilo aghiforme perché legati a intrusioni pegmatitiche negli gneiss. Tipiche nello smeraldo alpino dell'Habachtal, Austria, rinvenuto in rocce metamorfiche, inclusioni di biotite e actinolite. Anche gli indici di rifrazione variano a seconda della provenienza della pietra. Ad esempio, per lo smeraldo colombiano l'indice di rifrazione è più basso (1,57 – 1,58) di quello Pakistano (1,588 – 1,60).

## 9. – Gemme e loro sintesi

Prima di passare oltre e uscire dal museo, osserviamo alcuni prodotti artificiali e sintetici. I costi, talvolta altissimi delle pietre preziose, ha da lungo tempo spinto l'uomo ad imitarle con prodotti, quali vetri inizialmente e plastiche successivamente, dall'aspetto simile e dal costo bassissimo.

Ma è solo nel 1837 che il francese Gaudin sintetizzò il rubino perché solo a quel tempo erano disponibili tutte quelle conoscenze approfondite sulla loro natura chimica indispensabili per ottenerli. Quei primi rubini erano pieni di impurità e non lasciarono mai il laboratorio ma col tempo, naturalmente i metodi di sintesi vennero



**Fig. 19:** Inclusioni di fondente in smeraldo e bolle gassose in zaffiro sintetici.  
**Fig. 19:** Melting inclusions in emerald and gas bubbles in synthetic sapphire.

perfezionati e molte altre gemme vennero prodotte e immesse sul mercato. Nel 1905 venne prodotto il rubino con la tecnica Verneuil, nel 1910 lo zaffiro, nel 1963 lo smeraldo, nel 1970 il diamante e anche l'opale. La ricerca è proceduta velocissima anche per la necessità di realizzare cristalli purissimi da impiegare nell'industria dell'elettronica, dei laser etc.

Nella tecnica Verneuil gocce di ossido di alluminio a 2200 °C cadono su un supporto rotante di ceramica. Il risultato è simile ad una piccola stalagmite di rubino, chiamata boule, la cui qualità dipende dalla fiamma, dai materiali impiegati, dal raffreddamento adeguato, etc.. Con le tecniche più moderne, i risultati sono tali che oggi è molto difficile distinguere una pietra naturale da una sintetica. Un cristallo ottenuto velocemente in laboratorio però, non segue certamente i tempi di formazione di quello naturale, né si forma nelle condizioni di temperatura e pressione del suo omologo naturale. Pertanto, se osservati attentamente, i cristalli sintetici presentano delle caratteristiche uniche, non rilevabili in quelli naturali. Il cristallo sintetico si rivela per le inclusioni di fondente, inclusioni dalla struttura particolare a velo o a ginocchio, linee di struttura curve, laminette di platino, zonature di colore, bolle gassose, cristalli di fenacite ma anche per spettri di assorbimento diversi, fluorescenza diversa e per altre caratteristiche ancora.

La ricerca scientifica negli ultimi trent'anni ha fatto passi da gigante anche nella produzione di prodotti artificiali nati quali sottoprodotti della moderna ricerca di nuovi materiali da utilizzare nell'industria tecnico-industriale. Di questi prodotti non esistono i corrispettivi naturali e alcuni di loro come lo YAG (Yttrium Aluminum Garnet) e il GGG (Gadolinium Gallium Garnet) imitavano il diamante. Già negli anni 50 era stato messo in commercio il rutilo sintetico, noto come titania, come pure il titanato di stronzio sintetico, chiamato anche fabulite, in ogni caso, vuoi per le caratteristiche ottiche non ottimali o per la scarsa durezza, tutti loro sono stati soppiantati, oggi, dall'ossido di zirconio cubico o CZ (Cubic Zirconia).

La preparazione di quest'ultima non è facile ma i costi di questo materiale sono bassi e le sue caratteristiche ottiche si avvicinano così tanto a quelle del diamante da renderlo oggi il più diffuso materiale che lo imita.

## 10. – Conclusioni

Non tutti i visitatori di un museo hanno una cultura scientifica tale da capire i concetti scientifici alla base dell'esposizione e probabilmente non capiranno mai l'emozione di uno scienziato di fronte ad una scoperta, piccola o grande che sia, come pure la gioia che si può provare anche solo a percorrere sentieri già battuti, certamente è vero però che molte persone sono in grado di capire perché si interessano di scienza e che molte altre potrebbero essere incuriosite ad approfondire temi che mai, forse, avrebbero affrontato. È per questo motivo, quindi, che ancora una volta ribadisco l'importanza di proporre le collezioni in una prospettiva di divulgazione avanzata che contribuisca a promuovere, anche nel nostro paese, la conoscenza scientifica.

*Lavoro consegnato il 04/07/2018*

### RINGRAZIAMENTI

Grande è il piacere che provo a giocare con i minerali; per avermi dato questa possibilità ringrazio la Dott.ssa D. Arulla. Un grandissimo ringraziamento anche a E. Giovannini che con grandissima cura e pazienza ha preparato centinaia di etichette con indicazioni quasi incomprensibili. Un grazie di cuore anche a Caruso F. Tomsich per l'assistenza al computer e a F. Filippini per le bellissime fotografie.

### BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON. B, PAYNE J., 1998 – The spectroscopy and gemmology – N.A.G. Press, London.
- BARONNET A., 1992 – Mineralogia, Hoepli, Milano.
- BONATTI S., FRANZINI, M., 1972 – Cristallografia mineralogica, Boringhieri, Torino.
- CAROBBI, G., 1971 – Trattato di mineralogia (2 vol.), USES, Firenze.
- CAVENAGO S., BIGNAMI M., 1980 – Gemmologia (3 vol.), Hoepli, Milano.
- CIPRIANI C., BORELLI A., 2009 – Pietre preziose, Mondadori, Milano.
- COX A, BRIAN HART R., 1990 – La tettonica delle placche, Zanichelli, Bologna.
- DESAUTELS P., 1970 – I Minerali, Mondadori editore, Milano.
- DEER W. A., HOWIE R. A., ZUSSMAN J., 1994 – Introduzione ai minerali che costituiscono le rocce, Zanichelli, Bologna.
- FRANGIPANI E., 2016 – Criteri espositivi del nuovo allestimento mineralogico del Museo di Storia Naturale di Trieste e alcune riflessioni che la mostra richiama, Atti Museo Civico di Storia Naturale, Trieste, vol 58: 9-23.
- GRAMACCIOLI C. M., 1986 – Il meraviglioso mondo dei cristalli, Calderini, Bologna.
- GRAMACCIOLI, C. M., 1975 – Minerali alpini e prealpini (2 vol.), ATLAS, Bergamo.
- HAMMOIND C., 2015 – The basics of Crystallography and Diffraction Oxford Science Publications, Paperback.
- HOLDEN A., SINGER P., 1969 – La struttura dei cristalli (l'ordine della natura), Zanichelli, Bologna.
- HOLDEN A., SINGER P., 1981 – La coltivazione dei cristalli (metodi e ricette), Zanichelli, Bologna.
- SUNAGAWA I., 2005 – Crystals, growth, morphology and perfection, Cambridge University Press.
- KLEIN C., 2006 – Mineralogia, Zanichelli, Bologna.
- MOTTANA A., 1989 – Fondamenti di mineralogia geologica, Zanichelli, Bologna.
- ROLANDI V., CAVAGNA S., 1996 – Gemmologia tecnica, Edizioni Gold, Milano.
- WEBSTER R., 1994 – Gemme, Zanichelli, Bologna.