

IL COLORE E LE GEMME

(Valentina Domenici)

Fin dall'antichità l'uomo è sempre stato affascinato dai colori delle rocce, dalle quali ricavava polveri colorate per decorare la propria pelle e per dipingere in generale, come la malachite, da cui otteneva il verde, o l'azzurrite per il blu. Più tardi l'uomo cominciò ad utilizzare le pietre colorate a scopo ornamentale, fino a sviluppare tecniche sempre più raffinate per tagliare e levigare le gemme, in modo da evidenziarne le peculiari proprietà ottiche, prima tra tutte il colore. Non a caso molte pietre devono il loro nome proprio al colore: il nome dei berilli, che nella varietà verde sono smeraldi e in quella celeste, acquemarine, deriva da "beryllos", che in greco significa gemma blu-verde; lo stesso dicasi per i rubini, il cui nome deriva dal latino "rubeus", ossia rosso. Ma cosa è il colore e cosa, in

particolare, determina tale proprietà nelle gemme?

Il colore può essere considerato come un effetto della luce, che è un insieme ristretto di onde elettromagnetiche, aventi una lunghezza d'onda compresa tra 375 e 740 nanometri. L'occhio umano è in grado di percepire distintamente queste lunghezze d'onda, alle quali associa i vari colori. Tutte le altre onde elettromagnetiche, con lunghezza d'onda più grande di 740 nanometri, come le microonde o le onde radio, o più piccola di 375 nanometri, come i raggi X, non sono "visibili" dall'occhio umano.

Il colore di un oggetto è conseguenza principalmente del fenomeno di assorbimento di alcune lunghezze d'onda ben precise: ad esempio, uno smeraldo, che assorbe luce rossa e viola, appare verde perché le lunghezze d'onda che

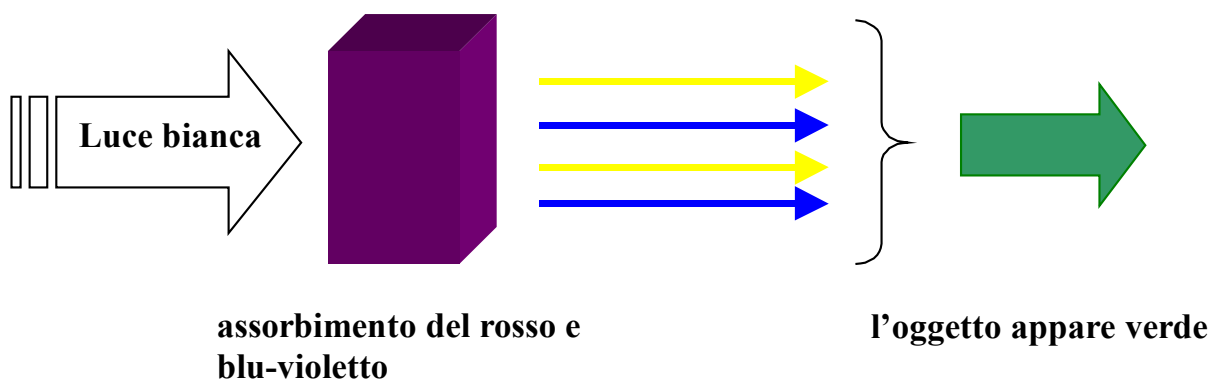


FIGURA 1: Fenomeno di assorbimento della luce, responsabile del colore degli oggetti

non vengono assorbite dalla pietra sono quelle che la attraversano fino a raggiungere e stimolare i pigmenti visivi contenuti nella retina (figura 1). Infatti, un oggetto che non assorbe luce, appare bianco, perché lascia passare l'insieme di tutti i colori, ovvero di tutte le onde luminose, che sommate insieme danno il bianco; viceversa un oggetto nero, è tale perché assorbe tutti i colori senza lasciarne passare nessuno.

La questione dell'origine del colore nelle gemme ha generato numerosi dibattiti, non solo per il semplice desiderio di approfondire la conoscenza scientifica, ma soprattutto per le notevoli implicazioni commerciali. E' ben noto, infatti, che il valore delle pietre preziose è legato alle proprietà ottiche, come la trasparenza, la luminosità, la lucentezza ed il colore. Talune di queste proprietà, come ad esempio la lucentezza, possono essere potenziate tagliando opportunamente la pietra; il colore di una gemma invece rimane lo stesso, può al più essere reso più o meno intenso.

Vediamo quindi di spiegare in maniera semplice quali fenomeni sono alla base dell'assorbimento di particolari lunghezze d'onda da parte delle pietre. Dobbiamo tornare un attimo indietro alla definizione delle onde elettromagnetiche nella regione del visibile, o, come abbiamo detto, alle onde luminose. Queste ultime, oltre a possedere le proprietà tipiche delle onde, come la frequenza e la lunghezza d'onda, hanno anche proprietà corpuscolari, in quanto possono essere

immaginate come fasci di corpuscoli, i fotoni, privi di massa, ma aventi un ben preciso contenuto energetico. Ad ogni colore corrisponde un fascio di fotoni con energia ΔE , diversa da colore a colore, che è legata alla lunghezza d'onda λ dalla relazione:

$$\Delta E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Dove h è la costante universale di Plank e c la velocità della luce nel vuoto. L'assorbimento di particolari lunghezze d'onda da parte delle gemme avviene attraverso l'assorbimento di una quantità di energia ben precisa, corrispondente a quella di un fotone. Ma perché la materia assorbe solamente quantità ben definite di energia? Per rispondere occorre considerare cosa succede nella materia, quando viene assorbito un quanto di energia, ovvero un fotone e quali meccanismi si nascondono dietro questo fenomeno.

I principali responsabili dell'assorbimento di un fotone sono gli elettroni degli ioni metallici, che possono assumere varie configurazioni corrispondenti ad energie ben precise chiamate livelli energetici. Il passaggio dal livello energetico fondamentale, che è quello più stabile, essendo ad energia più bassa, ad un livello energetico eccitato, avviene per assorbimento di un fotone di energia ΔE pari alla differenza tra i due livelli energetici. Fotoni con energia maggiore o minore non contribuiscono a nessuna transizione. In genere gli elettroni tendono a ritornare nel livello

fondamentale attraverso due possibili percorsi: liberando l'energia in eccesso sottoforma di calore, oppure emettendo un fotone con un'energia ΔE un po' più piccola di quella assorbita, producendo così il fenomeno della luminescenza. Nel primo caso il colore della pietra corrisponde effettivamente alle lunghezze d'onda non assorbite, nel secondo caso, più raro, il colore è dovuto alla luce emessa per luminescenza. Nel caso del rubino, ad esempio, il colore rosso è dovuto a questo



FIGURA 2: Quarzo ametista (Sardegna)

fenomeno: l'assorbimento di un fotone giallo-verde da parte degli elettroni dello ione Cr^{+3} è seguito da un ritorno allo stato fondamentale con emissione di un fotone rosso.

Appurato il fatto che il colore sia dovuto quasi sempre all'assorbimento di fotoni "colorati" da parte degli elettroni di ioni metallici presenti nella struttura del cristallo, resta da chiedersi perché esistano differenze nel colore di pietre dello stesso tipo, aventi la stessa composizione chimica: perché esiste il berillo verde e quello blu? E le molteplici variazioni di colore nelle tormaline? I diamanti gialli e quelli azzurri? I motivi sono molteplici, ma tutti hanno il medesimo effetto: aumentare o diminuire la distanza tra il livello fondamentale ed il primo livello eccitato, ovvero il valore dell'energia ΔE che deve essere

assorbita perché si verifichi la transizione elettronica.

La presenza di un particolare elemento nella composizione chimica del minerale non è sufficiente a giustificare il colore, è, infatti, molto importante la valenza. Con la valenza dello ione si indica la carica stessa, che nel caso degli ioni metallici è positiva ed indica quale è lo squilibrio tra numero di elettroni e carica del nucleo: il Ferro con valenza due, Fe^{+2} , è uno ione con due elettroni mancanti.

Inoltre nella maggior parte delle pietre, il colore è dovuto alla presenza di ioni metallici che non figurano nella formula chimica del minerale, ma che sono presenti come impurezze. È il caso delle numerose varietà del comune quarzo (SiO_2): viola, nella varietà ametista (figura 2), per la presenza di ferro, rosa per

tracce di manganese e titanio. La presenza di una diversa valenza di uno stesso elemento, contenuto come impurità, determina il colore delle tormaline: incolori se è presente il Manganese Mn^{+2} (varietà elbaite), di color rosa acceso se ci sono impurezze di Mn^{+3} (varietà rubelite). Lo stesso dicasi per il berillo con Fe^{+3} (colore giallo, varietà eliodoro), con Fe^{+2} (colore blu, varietà acquamarina) e con entrambi (colore verde, varietà smeraldo).

Occorre poi considerare che gli ioni metallici non sono isolati nella struttura del cristallo e quindi anche la natura chimica degli elementi che circondano lo ione, il loro numero (numero di coordinazione) e il tipo di legame che li tiene uniti a costituire il reticolo cristallino possono essere importanti nel determinare l'entità di quel ΔE che separa i due livelli energetici responsabili del colore. La presenza di un legame con

infatti, abbassare l'energia dello stato fondamentale, poiché stabilizza la struttura stessa del cristallo, così come una coordinazione ottaedrica, con sei leganti vicini, può avere un effetto diverso sull'energia, rispetto ad una coordinazione cubica deformata, con ben otto vicini (figura 3). Lo ione Fe^{+2} , ad esempio, presente nell'olivina e nell'almandino, non come impurità ma come costituente fondamentale, nel primo dà un colore verde perché in coordinazione ottaedrica, nel secondo un colore rosso-bruno perché in coordinazione cubica deformata.

Il caso del diamante è ancora diverso, infatti, l'origine del colore è legata ad imperfezioni del cristallo o difetti strutturali. Nel caso specifico gli unici costituenti del diamante dovrebbero essere atomi di carbonio, ognuno circondato da altri quattro atomi di carbonio, a formare una maglia in tre

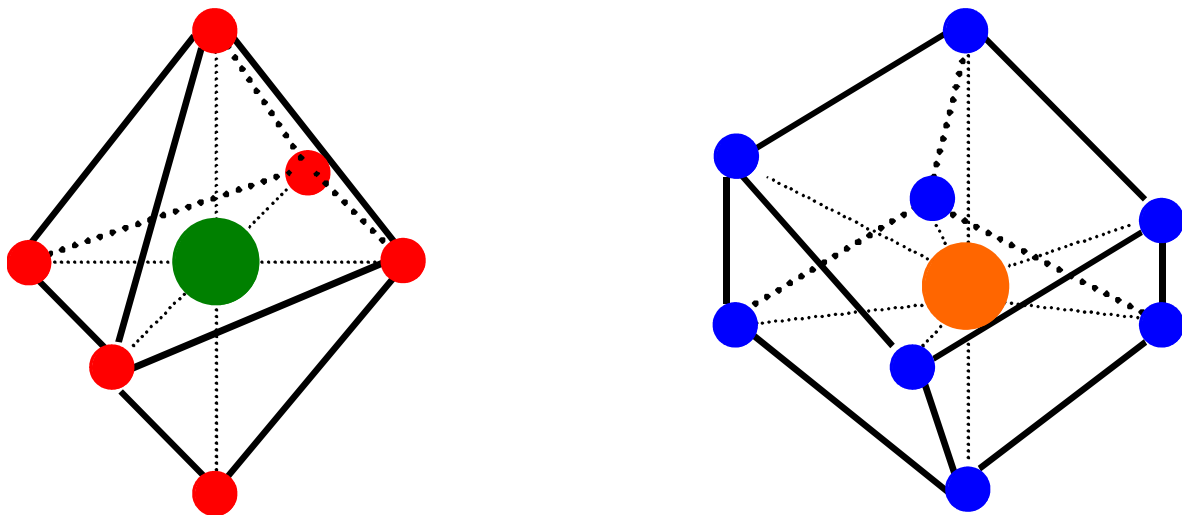


FIGURA 3: *Coordinazione ottaedrica, coordinazione cubica deformata.*

un elemento, piuttosto che un altro, può,

dimensioni molto rigida e regolare. Ogni

atomo di carbonio ha quattro elettroni cosiddetti di valenza, ovvero elettroni che occupano livelli ad energia relativamente alta, che possono essere parzialmente o del tutto allontanati dal nucleo e che partecipano alla formazione dei legami con atomi vicini. Nel caso del diamante, come dei



FIGURA 4: *Diamante giallo su Kimberlite (Sud Africa)*

metalli e semiconduttori, non esistono veri e propri livelli di energia, bensì bande di energia. E' come se tutti gli elettroni di valenza di tutti gli atomi del cristallo partecipassero insieme al processo di assorbimento.

Nel diamante puro la differenza tra l'energia della banda "fondamentale", occupata dagli elettroni, (banda di valenza) e quella "eccitata", ad energia più alta (banda di conduzione) è molto grande tanto che nessun fotone colorato può stimolare la transizione di un elettrone tra queste due bande energetiche. Il diamante puro è, infatti, incolore.

Cosa può provocare allora la colorazione del diamante? E' necessario che vengano introdotti dei livelli di energia intermedi tra la banda di valenza e quella di conduzione, e questo avviene ancora una volta grazie alla naturale presenza di imperfezioni nel cristallo. In particolare nei diamanti gialli, alcuni atomi di carbonio sono sostituiti da atomi di azoto,

che hanno cinque elettroni di valenza e di conseguenza comportano complessivamente la presenza di un livello di energia intermedio, occupato dagli elettroni in eccesso, che sono responsabili dell'assorbimento di fotoni blu-violetto. Se invece gli atomi di carbonio sono sostituiti, anche in pochissime unità, da atomi di boro, con tre elettroni di valenza, il cristallo in definitiva possiede un livello energetico vuoto ad energia intermedia tra la banda di valenza e quella di conduzione. Gli elettroni della banda di valenza devono così assorbire un'energia più piccola per passare ad un livello eccitato, proprio quello introdotto dalla presenza del boro. L'assorbimento di energia nella parte meno energetica dello spettro visibile, quella rossa, provoca la tipica colorazione azzurra di certi diamanti. Questo breve percorso nell'affascinante mondo delle pietre preziose ci porta forse ad una conclusione un po' inattesa: il colore delle gemme, nonostante sia stato

da sempre considerato motivo della loro perfezione e del loro maggiore valore, è dovuto, nella maggior parte dei casi, ad irregolarità nella composizione o ad imperfezioni nella struttura cristallina.

Bibliografia:

1. E. Fritsch, G. Rossman, "Il colore nelle gemme", Le Scienze dossier "IL COLORE", num. 9, 2001.
2. W.J. Moore, Basic Physical Chemistry, PRENTICE-HALL INC., New Jersey, 1983: cap. 27, pag. 677-700.