



Alla ricerca del celeste neon: il ruolo del trattamento termico nelle tormaline Paraíba del Mozambico

R. Luppi¹, F. Pezzotta², H. Skogby³, G.B. Andreozzi¹, and F. Bosi¹

¹ Dipartimento di Scienze della Terra, Sapienza Università di Roma, Piazzale Aldo Moro 5, I-00185, Rome, Italy

² MUM – Mineralogical Museum Luigi Cellieri, San Piero in Campo, Elba Island, Italy

³ Department of Geosciences, Swedish Museum of Natural History, P.O. Box 50 007, 104 05 Stockholm, Sweden

Indirizzo email dell'autore che presenta: riccardo.luppi@uniroma1.it

Parole chiave: tormalina, studi sul colore, trattamenti termici, analisi chimiche, analisi spettroscopiche.

Nel mercato delle gemme, il colore rappresenta un fattore molto importante, tanto da poter rendere un minerale prezioso o di scarso valore. Il colore, infatti, è una delle proprietà più apprezzate e imitate nei minerali fin dall'antichità.

Le tormaline, borosilicati chimicamente complessi, rappresentano un perfetto esempio dell'estrema variabilità cromatica dei minerali e per questo costituiscono una gemma di grande valore [1]. Possono, infatti, attraverso molteplici meccanismi chimico-fisici, assumere diverse tonalità di colore, rappresentative dell'intero spettro visibile, dal rosso fino al violetto. Tra le tormaline, la varietà maggiormente apprezzata per i suoi vividi colori, che spaziano dal turchese-verde al blu neon, è la Paraíba [2]. Questa rara tormalina cuprifera, rinvenuta in Brasile, Nigeria e Mozambico, è infatti oggi una delle gemme più costose sul mercato, con valori che possono raggiungere i 50.000 USD per carato. Gli esemplari di colore blu intenso devono la loro caratteristica tonalità al Cu, presente in concentrazioni di centinaia di ppm in peso, mentre il Fe è inferiore all'1% in peso [3].

Più in generale nella tormalina gli elementi di transizione Ti, V, Cr, Mn, Fe e Cu agiscono come principali agenti cromofori occupando i siti a coordinazione ottaedrica all'interno della struttura, influenzando così il tono e l'intensità del colore [2,4,5]. Tuttavia, difetti dovuti a impurità e la distorsione dei poliedri potrebbero anch'essi influenzare il colore percepito [4]. Comprendere i meccanismi alla base della colorazione naturale e trattata, soprattutto l'esatta distinzione tra le due, rappresenta una sfida aperta nella cristallogemologia della tormalina, che richiede ulteriori indagini.

In questo studio, per indagare l'influenza dei trattamenti termici sul colore della tormalina, sono stati riscaldati in forni ad atmosfera controllata oltre 40 campioni di tormalina cuprifera con differenti tonalità cromatiche, provenienti dall'area di Mavuco (Alto Ligonha, Mozambico), il più esteso e recente deposito alluvionale noto al mondo di tormaline contenenti Cu [6].

Il colore di ogni tormalina è stato classificato utilizzando il sistema Munsell (World of Color), sia in luce trasmessa che incidente, e osservato lungo le due direzioni cristallografiche **a** e **c**, prima e dopo ciascun ciclo di riscaldamento. I campioni che, al termine del trattamento termico, hanno sviluppato una migliore colorazione verso tonalità celeste neon, insieme ad una selezione rappresentativa delle principali categorie cromatiche, sono stati sottoposti ad una caratterizzazione cristallogemologica tramite microsonda elettronica (EMP), spettroscopia di assorbimento ottico (OAS) e spettroscopia infrarossa in trasformata di Fourier (FTIR).

I risultati ottenuti indicano che le tormaline Paraíba studiate presentano composizioni elbaitiche e liddicoatitiche, e che il loro colore è determinato principalmente dalla combinazione, dalla concentrazione e dallo stato di ossidazione di Cu, Mn, Fe e Ti.



In particolare, i campioni viola e bicolore (viola e blu-grigio) tendono a virare con maggiore efficacia verso tonalità blu neon dopo il riscaldamento, rispetto alle altre categorie di colore (Fig.1). Questo marcato cambiamento di colorazione è attribuibile alla riduzione del Mn^{3+} , responsabile della tonalità viola-rossastra, in Mn^{2+} , un cromoforo meno intenso. Quando il Mn è presente nello stato di ossidazione +2, e in assenza di quantità rilevanti di Fe e Ti, le tormaline assumono un colore blu “neon”, dovuto ai forti assorbimenti di Cu^{2+} . Al contrario, il trattamento termico di tormaline cuprifere contenenti elevate concentrazioni di Ti e Fe inducono una colorazione verde. I campioni verdi riscaldati fino a 600°C mostrano solo lievi variazioni cromatiche, virando verso tonalità verdastre-giallastre, a causa del forte assorbimento legato alla coppia $Mn^{2+}-Ti^{4+}$.



Figura 1: Trattamento termico di una tormalina cuprifera viola in ambiente riducente, con temperature crescenti ad ogni ciclo di riscaldamento, fino a raggiungimento del colore desiderato.

Ulteriori analisi, tra cui la diffrazione di raggi X su cristallo singolo e la spettroscopia di risonanza paramagnetica elettronica (EPR), sono attualmente in programma per perfezionare il modello cristallografico relativo all'origine del colore nelle tormaline cuprifere, sia naturali che sottoposte a trattamento termico. Un approccio analogo è stato recentemente applicato con successo al neotipo incolore dell'elbaite dell'isola d'Elba (varietà acroite), per studiare la transizione verso il colore rosso (varietà rubellite) indotta da irraggiamento elettronico, e il successivo ritorno all'incolore mediante riscaldamento.

Per comprendere a fondo i processi chimico-fisici che governano il caratteristico colore blu neon delle tormaline Paraiba, e per sviluppare un protocollo analitico in grado di descriverne l'evoluzione cromatica in funzione della composizione chimica e delle condizioni di trattamento, sarà fondamentale elaborare un modello cristallografico ad “alta risoluzione”.

Questo approccio consentirà non solo di chiarire i meccanismi alla base della variazione cromatica, ma anche di definire criteri diagnostici affidabili per distinguere il materiale trattato dal naturale, contribuendo così a una maggiore trasparenza e regolamentazione nel mercato delle gemme.

References:

- [1] Bosi, F. (2018): Tourmaline crystal chemistry. *American Mineralogist*, **103**, 298–306.
- [2] Pezzotta, F. & Laurs, B.M. (2011): Tourmaline: The Kaleidoscopic Gemstone. *Elements*, **7(5)**, 333-338.
- [3] Katsurada, Y., Sun, Z., Breeding, C.M., Dutrow, B.L. (2019): Geographic Origin Determination of Paraiba Tourmaline. *Gems & Gemology*, **55**, 648–659.
- [4] Li, M., Hong, H., Yin, K., Wang, C., Cheng, F., Fang, Q. (2018): The Chemical States of Color-Induced Cations in Tourmaline Characterized by X-Ray Photoelectron Spectroscopy. *Journal of Spectroscopy*, ID 3964071.
- [5] Rossman, G.R., Fritsch, E., Shigley, J.E. (1991): Origin of color in cuprian elbaite from São José de Batalha, Paraiba, Brazil. *American Mineralogist*, **76**, 1479-1484.
- [6] Laurs, B.M., Zwaan, J.C., Breeding, C.M., Simmons, W.B., Beaton, D., Rijdsdijk, K.F., Befi, R., Falster, A.U. (2008): Copper-bearing (Paraiba-type) tourmaline from Mozambique. *Gems & Gemology*, **44**, 4-30.

Diamante e Gemme di Colore: Conferenza Nazionale di Gemmologia - VIIa Edizione

www.conferenzanazionaledigemmologia.it - Per contatti: napoli2025@rivistaitalianadigemmologia.com