



***Relazione della attività di tirocinio presso
l'Istituto di Gemmologia Nazionale (Roma)***

***Analisi FTIR su varietà di Berillo:
Acquamarina, Smeraldo, Morganite e Berillo
Aureo.***

Autore: Birigazzi Sara.

Gennaio 2026.

1. Introduzione

Il presente studio ha preso in analisi il **berillo** ($\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$) e le sue varietà gemmologiche: **smeraldo**, **acquamarina**, **morganite** e **berillo aureo**, caratterizzate da diverse colorazioni.

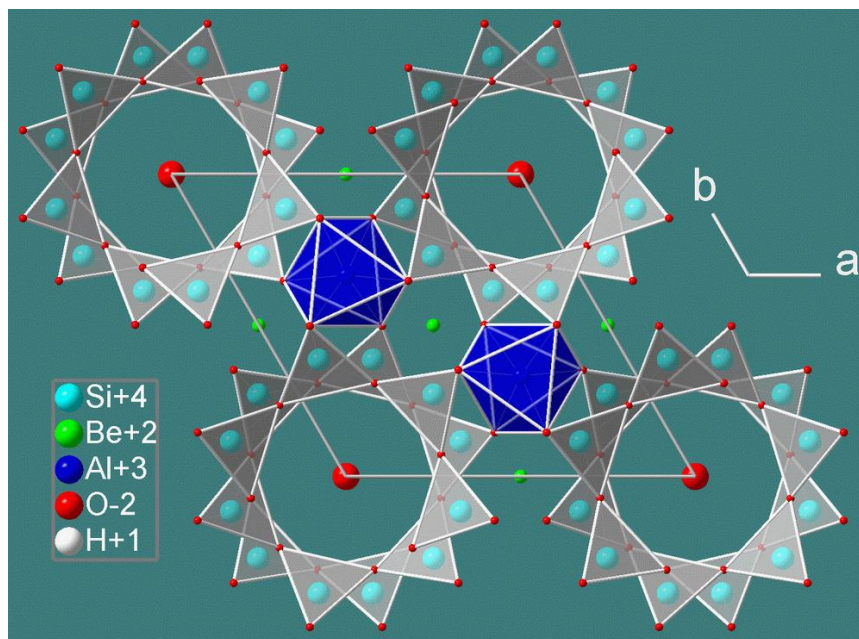


Figura 1. Struttura cristallina del berillo. A causa della presenza dei grandi canali, il berillo può contenere spesso, come impurità o sostituzioni, H_2O , gruppi ossidrilici, CO_2 o altri elementi, non presenti nella formula stechiometrica.

La causa di queste varietà cromatiche è da ricercarsi in meccanismi di sostituzione chimica, in particolare coinvolgendo elementi cromofori in traccia.

Attraverso la collaborazione con l'**Istituto Gemmologico Nazionale (IGN) di Roma** (presso via di S. Sebastianello 6, 00187 Roma) la ricerca si è posta l'obiettivo di mappare la risposta di queste varietà alla radiazione infrarossa per determinare gli spettri di assorbimento caratteristici.

L'impiego della tecnica FTIR risulta cruciale verso le componenti fluide e gassose, come le molecole di acqua di "tipo I" e "tipo II", che rappresentano marker diagnostici fondamentali per distinguere le diverse varietà e accertarne la genesi naturale.

Questa analisi mira a stabilire parametri spettrali standardizzati che permettano una distinzione oggettiva e scientificamente validata tra campioni che potrebbero presentare sovrapposizioni nelle proprietà fisiche classiche.

1.1 Obiettivi e Metodologia

L'indagine si è posta l'obiettivo di mappare la risposta dei campioni alla radiazione infrarossa mediante spettroscopia **FTIR** (*Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*):

- **Individuazione del "Fingerprint":** Determinazione degli spettri di assorbimento caratteristici per ogni varietà, con particolare attenzione alle bande vibrazionali dei gruppi ossidrilici (OH) e delle molecole d'acqua presenti nei canali strutturali.
- **Analisi Comparativa:** Confronto sistematico degli spettri ottenuti per evidenziare le correlazioni tra le diverse varietà e stabilire parametri diagnostici differenziali.
- **Validazione Scientifica:** Definire uno spettro identificatore standard per ciascuna tipologia di berillo analizzata, utile alla distinzione oggettiva tra varietà che potrebbero presentare sovrapposizioni cromatiche.

2. Materiali e Metodi

2.2 Campioni

Campione	Varietà	Taglio	Carati
19	Acquamarina	Goccia	0,55
20	Acquamarina	Goccia	0,56
21	Acquamarina	Goccia	0,47
23	Smeraldo	Cabochon	0,51
28	Smeraldo	Cabochon	0,50
33	Smeraldo	Ovale	0,49
44	Berillo Aureo	Ovale	0,45
45	Berillo Aureo	Ovale	0,53
46	Berillo Aureo	Ovale	0,57
54	Morganite	Goccia	1,51
55	Morganite	Goccia	1,52

2.3 Strumentazione

Le analisi spettroscopiche sono state eseguite utilizzando **FT-IR** modello **Thermo Nicolet Avatar 360**.

Per l'acquisizione degli spettri sono stati impostati i seguenti parametri sperimentali:

- **Intervallo di scansione:** 4000 - 400 cm^{-1} .
- **Risoluzione:** 4 cm^{-1} riducendo al minimo il rumore di fondo.
- **Numero di scansioni:** Per ogni campione sono state effettuate **32 scansioni medie**.
- **Elaborazione dati:** I segnali interferometrici sono stati elaborati tramite trasformata di Fourier utilizzando il software di gestione **OMNIC**.

3. RISULTATI

3.1 Analisi spettrale comparativa campioni Acquamarina 19, 20 e 21.

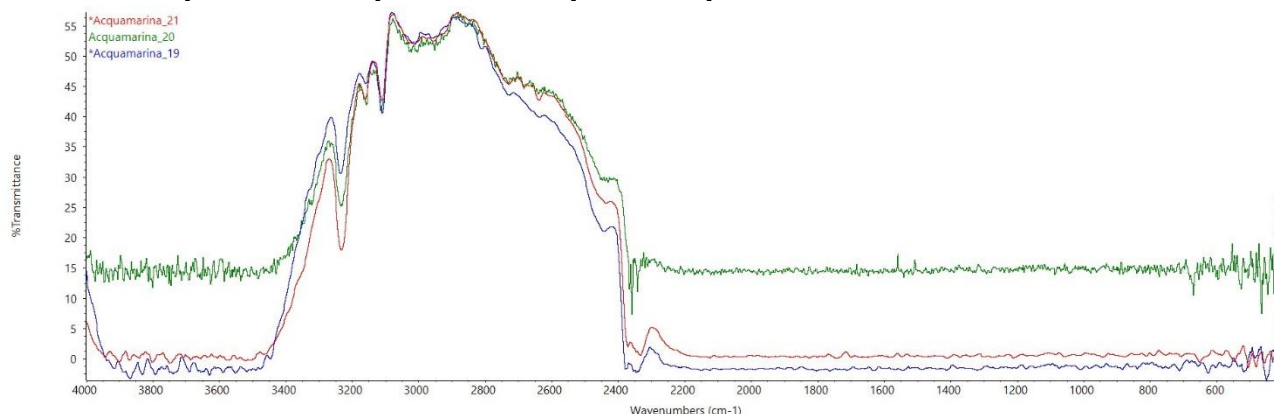


Figura 2: Analisi comparativa FTIR Acquamarina.

Gli spettri ottenuti mostrano un'elevata sovrapponibilità in tutto l'intervallo 4000–400 cm^{-1} . Le bande caratteristiche risultano presenti in tutti i campioni con posizioni e forme pressoché identiche, mentre le differenze osservate riguardano esclusivamente l'intensità relativa delle bande di trasmittanza.

Questa omogeneità spettrale costituisce un primo indicatore della comune natura mineralogica dei tre campioni.

3.1.1 Analisi delle principali regioni spettrali

Regione stretching O–H (3700–3000 cm^{-1})

Tutti i campioni presentano una banda ampia e poco intensa, tipica della presenza di gruppi –OH associabili ad acqua strutturale, inclusioni fluide e/o reticolari.

Le differenze di intensità tra i campioni sono minime e non suggeriscono variazioni significative nel contenuto d'acqua.

Componente Gassosa Strutturale (circa 2350 cm^{-1})

È chiaramente rilevabile la banda di assorbimento asimmetrica della **CO₂ molecolare**. La presenza di anidride carbonica all'interno dei canali strutturali rappresenta un marker diagnostico fondamentale per l'attribuzione della genesi naturale dei campioni, in quanto tale segnale è generalmente assente o significativamente trascurabile nei sintetici.

3.1.2 Conclusioni

L'analisi FTIR evidenzia che i tre campioni presentano spettri sostanzialmente sovrapponibili, caratterizzati dalle bande tipiche dell'ossidrile O–H, ma anche di CO₂ molecolare.

Le differenze osservate nelle intensità delle bande non sono riconducibili a variazioni chimiche, ma piuttosto a fattori fisici quali: presenza e quantità di inclusioni e microeterogeneità strutturali.

3.2 Analisi Spettrale Comparativa dei Campioni di Smeraldo (23, 28, 33)

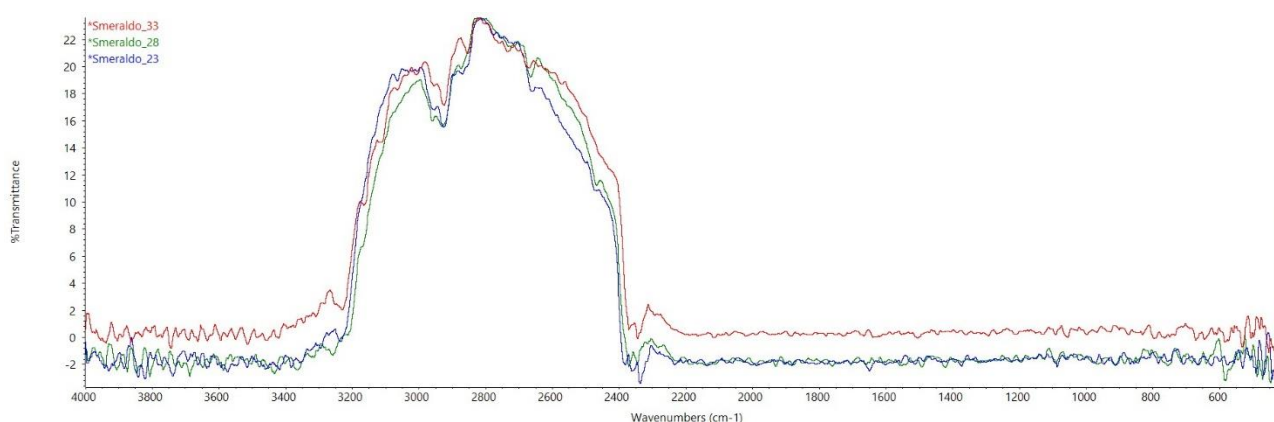


Figura 3: Analisi comparativa FTIR Smeraldo.

L'indagine condotta tramite spettroscopia FTIR sui campioni di smeraldo (**23, 28, 33**) ha evidenziato un profilo vibrazionale complesso, caratterizzato da una marcata attenuazione del segnale nelle regioni tipiche del reticolo del berillo e dalla comparsa di segnali riconducibili a fasi organiche non strutturali. Gli spettri di trasmittanza, acquisiti nell'intervallo 4000 – 400 cm⁻¹, presentano le seguenti evidenze diagnostiche:

3.2.1 Analisi delle principali regioni spettrali

Regione delle Sostanze Organiche di Riempimento (3000 – 2800 cm⁻¹)

Gli spettri degli smeraldi mostrano un'intensa serie di bande di assorbimento centrate a circa **2925 cm⁻¹** e **2855 cm⁻¹**. Tali segnali sono univocamente attribuibili ai moti di *stretching* asimmetrico e simmetrico dei legami **C-H**.

La presenza di queste bande rappresenta un marker diagnostico del trattamento di **impregnazione (filling)** delle fratture superficiali con sostanze oleose o resine polimeriche (es. resine epossidiche), pratica comune per migliorare la diafanità della varietà smeraldo. *Per attribuire con certezza eventuali picchi spettrali alla presenza di trattamenti di natura organica è necessario integrare l'analisi FTIR con adeguati metodi di valutazione gemmologica. Solo qualora l'indagine gemmologica confermi l'effettiva presenza di*

sostanze estranee o interventi di impregnazione, tali picchi possono essere interpretati come indicatori di trattamento; in caso contrario, è opportuno ricorrere ad ulteriori analisi per chiarirne l'origine.

Saturazione del Fondo e Opacità Strutturale ($< 2400\text{ cm}^{-1}$ e $> 3200\text{ cm}^{-1}$)

Si osserva una quasi totale assenza di trasmissione (prossima allo 0% o con valori nominali negativi dovuti a rumore di fondo) nelle regioni del *fingerprint* silicatico e del complesso idrossilico. Tale fenomeno non indica l'assenza di gruppi OH o di legami Si-O, bensì riflette un'elevata densità di inclusioni tale da rendere il cristallo otticamente opaco alla radiazione infrarossa nel range considerato.

3.2.2 Conclusioni

L'analisi FTIR dei campioni evidenzia spettri sostanzialmente sovrapponibili, caratterizzati dalle tipiche bande della struttura silicatica del berillo e da deboli segnali riconducibili a gruppi O–H, oltre alla presenza di bande riconducibili a legami C-H.

L'assenza di variazioni significative nella posizione e nella forma delle bande indica che i tre campioni condividono la stessa composizione mineralogica di base. Le differenze osservate nelle intensità delle bande sono attribuibili a fattori fisici, quali diversa quantità e natura delle inclusioni (solide o fluide) e/o microeterogeneità strutturali.

4. *Analisi Spettrale Comparativa dei Campioni di Berillo Aureo (44, 45, 46)*

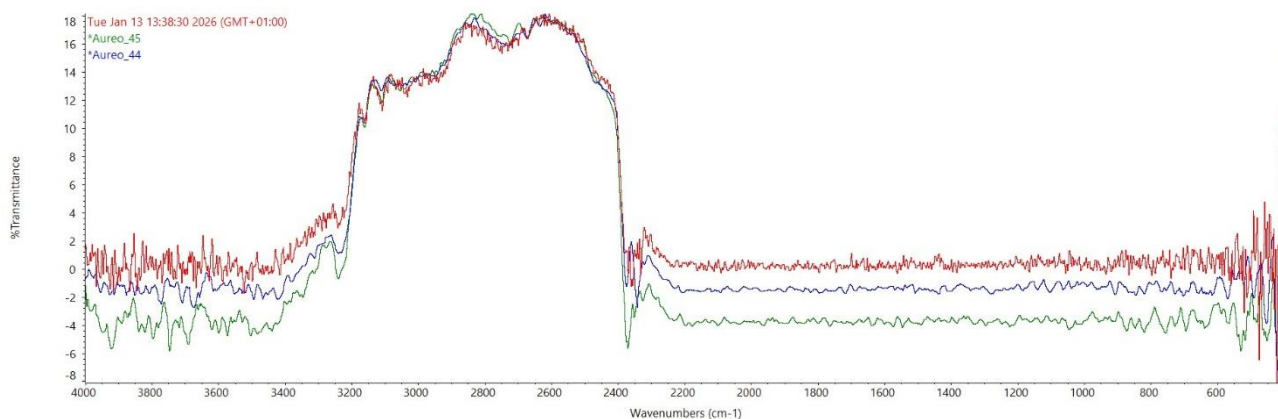


Figura 4: Analisi comparativa FTIR Berillo Aureo.

Lo spettro mostra l'andamento generale coerente con quello tipico del berillo e non presenta bande anomale o segnali riconducibili a sostanze organiche.

La Regione dello stretching dell'OH (3700–3000 cm⁻¹) conferma la presenza di acqua strutturale e inclusioni fluide.

5. *Analisi Spettrale Comparativa dei Campioni di Morganite (54, 55)*

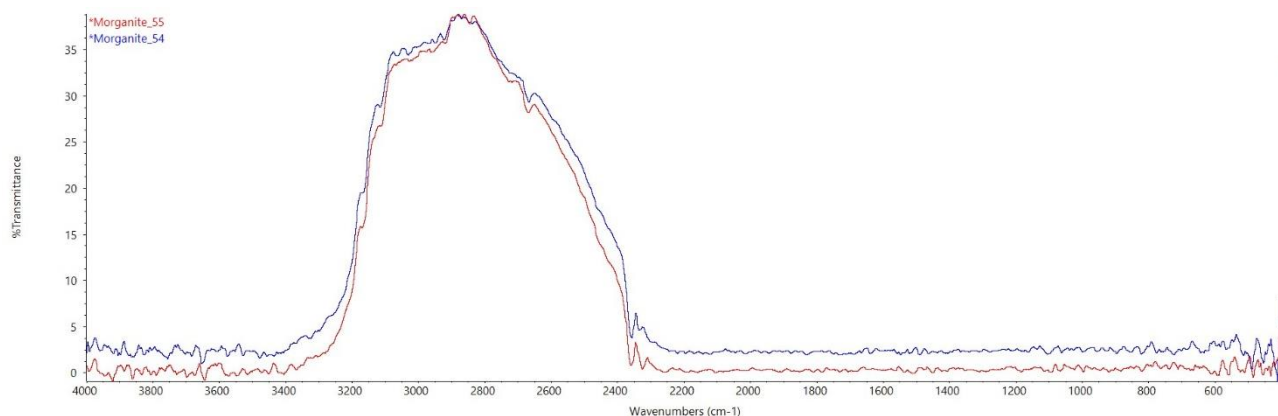


Figura 5: Analisi comparativa FTIR Morganite.

Entrambi i campioni mostrano una banda ampia e intensa nella regione dell'O–H stretching (3700–3000 cm⁻¹) tipica dell'acqua nei canali del berillo e delle inclusioni fluide.

Morganite_55 presenta un assorbimento più marcato rispetto a **Morganite_54**; questo andamento suggerisce un contenuto più elevato di acqua strutturale o inclusioni fluide, piuttosto che una differenza compositiva.

6. Conclusioni

L'analisi comparativa condotta sui campioni di berillo rivela come la spettroscopia FTIR sia in grado di tracciare un profilo unico per ogni gemma, partendo da una base strutturale comune per arrivare a dettagli diagnostici estremamente specifici. Tutte le varietà esaminate condividono la stessa struttura cristallina del ciclosilicato, il che si traduce in uno spettro quasi identico nella regione tra 1200 e 400 cm.

La differenza più marcata emerge nello **Smeraldo** che mostra intense bande di assorbimento a 2925 cm^{-1} e 2855 cm^{-1} , probabilmente legate allo stretching dei legami C-H tipici di resine o oli utilizzati per l'impregnazione delle fratture. Questo dimostra come la spettrometria IR sia uno strumento molto utile per identificare i trattamenti di miglioramento della purezza. Inoltre, lo Smeraldo tende a mostrare una saturazione del fondo che lo rende quasi opaco alla radiazione infrarossa in ampie porzioni dello spettro, a causa dell'elevata densità di inclusioni che ne caratterizza la varietà.

Al contrario, varietà come la Morganite e l'Acquamarina si distinguono per la presenza delle molecole d'acqua e dei gruppi ossidrilici nei canali strutturali. Se l'Acquamarina mostra bande O-H ampie ma poco intense, la Morganite presenta un assorbimento decisamente più marcato nello stesso range ($3700\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$), suggerendo una maggiore concentrazione di acqua strutturale o di inclusioni fluide che ne definisce il "fingerprint" idrico. Il Berillo Aureo si colloca in una posizione intermedia, mostrando un andamento spettrale molto regolare.

7. Bibliografia.

Mauro Tonnellato, "Interpretare gli spettri FTIR".

https://www.pianetachimica.it/didattica/documenti/Interpretare_gli_spettri_IR.pdf

IGR, "La spettroscopia infrarossa a trasformata di Fourier (FTIR) e sue applicazioni in gemmologia"

<https://www.rivistaitalianadigemmologia.com/2025/03/25/la-spettroscopia-infrarossa-a-trasformata-di-fourier-ftir-e-sue-applicazioni-in-gemmologia/>

□ D.L. Wood e K. Nassau, "The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy" https://www.minsocam.org/ammin/AM53/AM53_777.pdf

