PAOLO ANTOLINI

Osservazione macroscopica dei fenomeni: BIRIFRAZIONE, POTERE BIRIFRANGENTE E CARATTERE OTTICO DEI CRISTALLI per mezzo di un proiettore a luce normale ed a luce polarizzata

1. *Premessa*:

Questi tre fenomeni ottici si osservano normalmente nelle sezioni sottili di minerali e rocce con l'ausilio del microscopio polarizzatore ed i rispettivi valori misurati con tecniche piuttosto raffinate servono per la identificazione dei vari costituenti mineralogici delle rocce.

Ci proponiamo qui di esporre un'esperienza valida, in casi particolari, a dimostrare i tre fenomeni ottici sopraccitati senza bisogno di microscopio polarizzatore, sostituendolo con un proiettore da diapositive dotato di un semplice dispositivo polarizzante a dischi di polaroid.

I valori numerici misurati su vari cristalli (qui esposti solo per la calcite) in una serie sistematica di misure porterebbero evidentemente alla elaborazione di formule leganti fra di loro i vari fenomeni coinvolti, con notevole semplificazione rispetto alle tecniche microscopiche.

2. *Disposizione dell'esperienza* (vedi fig. 2).

Sono necessari:

a) un proiettore a luce normale, parallela, con i due elementi polarizzanti facilmente inseribili, ed un tavolino portaoggetti ruotante.

b) un vetrino portante un romboedro di sfaldatura di calcite, dello spessore di circa un centimetro, sul quale si è fatta una macchiolina con inchiostro di china sulla faccia che viene incollata al vetrino (vedi fig. 1);

c) uno schermo fisso, distante 5-10 metri dal proiettore, ed un piccolo schermo mobile.

Con questa disposizione si ha luce incidente ortogonalmente alla faccia $\bar{1}00$ del cristallo; nel caso in parola questa direzione è obliqua rispetto alla direzione dell'asse ottico della calcite, che, com'è noto, coincide con la diagonale congiungente i due vertici più distanti del romboedro.

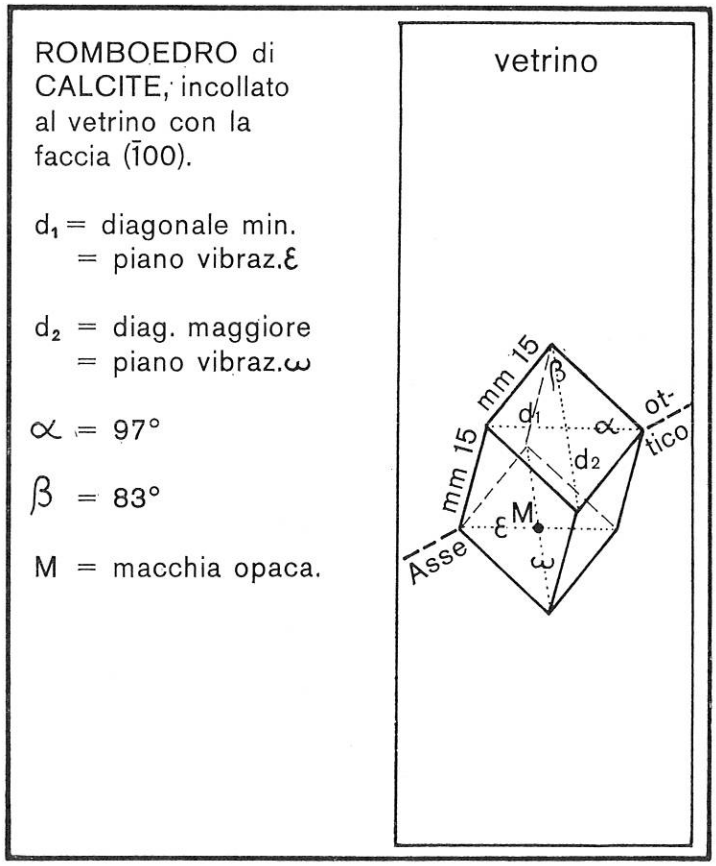

Figura 1

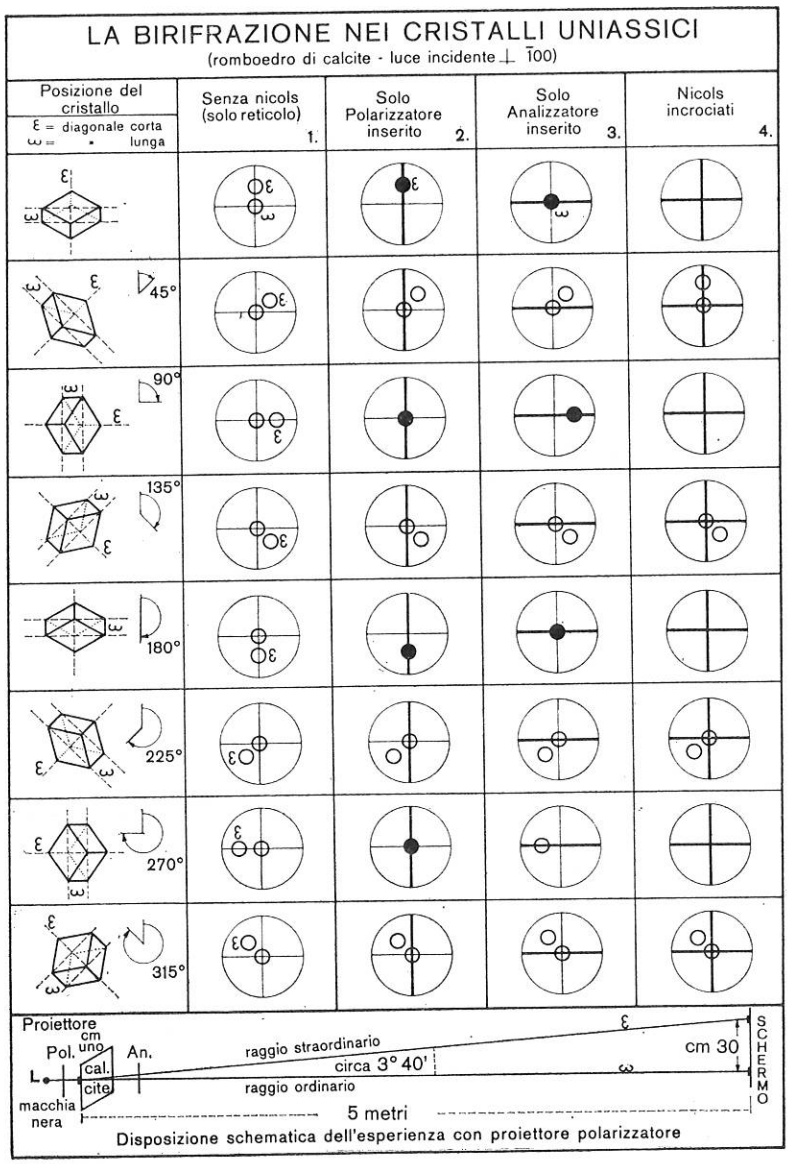
LA BIRIFRAZIONE NEI CRISTALLI UNIASSICI
(romboedro di calcite - luce incidente ⊥ $\bar{1}00$)
Posizione del cristallo
ε = diagonale corta
ω = " lunga
Senza nicols (solo reticolo) 1.
Solo Polarizzatore inserito 2.
Solo Analizzatore inserito 3.
Nicols incrociati 4.
45°
90°
135°
180°
225°
270°
315°
Proiettore
Pol.
cm uno
An.
L
cal.
cite
macchia nera
raggio straordinario
circa 3° 40'
raggio ordinario
cm 30
SCHERMO
5 metri
Disposizione schematica dell'esperienza con proiettore polarizzatore

Figura 2

3. *Osservazioni possibili.*

I. Con luce normale, parallela (vedi fig. 2)

a) Si vedono già ad occhio nudo, e meglio con il proiettore, due macchie nere, ben separate, che sono le immagini della macchiolina: in questo consiste il fenomeno della birifrazione o doppia rifrazione - di un oggetto si formano due immagini. Con il preparato in parola, su una distanza fra proiettore e schermo di circa 5-6 metri, la distanza fra i centri delle due macchie-immagini ammonta a circa 30 centimetri. Con un semplice calcolo trigonometrico si determina l'angolo fra i due raggi, ammontante a circa 3° 40'.

b) Ruotando il preparato nel piano normale al raggio incidente, le due macchioline sono costantemente visibili (vedi fig. 2, colonna 1). Però delle due immagini l'una ruota su se stessa, l'altra compie una rotazione su se stessa più una rivoluzione intorno alla prima, descrivendo un cerchio il cui centro è occupato dalla macchia fissa. Si riconoscono in queste due immagini: il raggio ordinario, e precisamente quello che prosegue in linea retta con il raggio incidente, occupando il centro del cerchio, ed il raggio straordinario quello che devia dalla retta e che perciò viene a descrivere un cerchio con la rotazione del cristallo.

Dalla posizione reciproca delle due immagini si può stabilire che il raggio straordinario esce dal cristallo in un punto che si trova sulla diagonale corta della faccia superiore del romboedro, ed esattamente dalla parte del triedro acuto. In sostanza questo raggio tende ad avvicinarsi all'asse ottico del cristallo, mentre l'ordinario prosegue non influenzato dall'asse ottico.

Se si impiegasse un cristallo birifrangente biassico, anziché uniassico, le due immagini nere comparirebbero ambedue fuori del centro, e, ruotando il cristallo, descriverebbero ciascuna un proprio cerchio. Questo nel caso di un raggio di luce attraversante il cristallo con una direzione qualsiasi, non coincidente con alcuno degli assi ottici.

c) Osservazione del « ritardo » di uno dei due raggi rispetto all'altro (vedi figg. 3 e 4).

Oltre a quanto sopra, si constata che le due macchie *non* sono su uno stesso piano parallelo alla faccia che porta la macchiolina di inchiostro. Anche questo fatto si può osservare ad occhio nudo, ma risulta magnificato con il proiettore.

In una qualsiasi delle posizioni precedenti si può notare infatti che

Determinazione del CARATTERE OTTICO
di un cristallo uniassico, ad occhio nudo
(schema esagerato)

Luce incidente normalmente ad una faccia
di romboedro

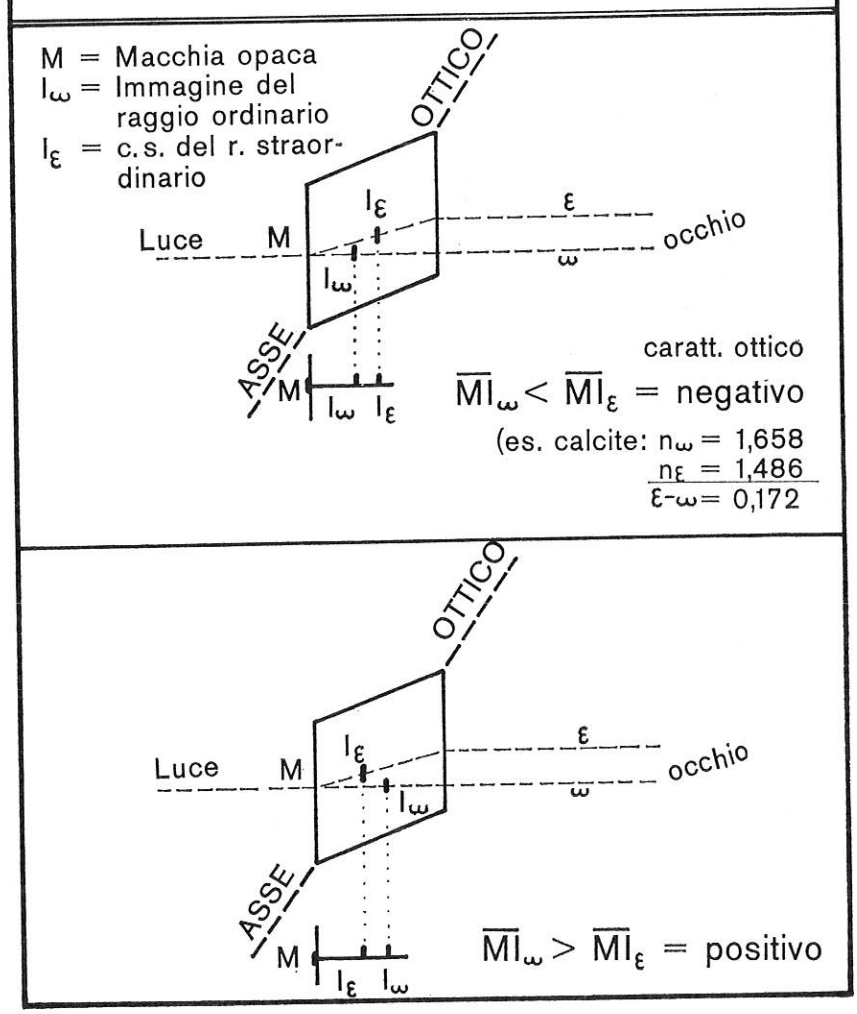

Figura 3

le due macchie nere non sono mai perfettamente a fuoco contemporaneamente sullo stesso schermo. Se si mette a fuoco l'una, con la vite per la messa a fuoco del proiettore, l'altra si sfoca, e viceversa. Ciò dimostra che uno dei due raggi è « in ritardo » rispetto all'altro: in ciò si riconosce l'effetto della differenza fra i due indici di rifrazione della calcite, e precisamente $\omega = 1{,}658$, ed $\varepsilon = 1{,}486$; la differenza $\varepsilon\text{-}\omega = 0{,}172$ negativo è quello che si chiama " potere birifrangente " o "potenza birifrattiva ", dovuta alla differente velocità di propagazione della luce a seconda della direzione nel cristallo, in definitiva dovuta ai differenti indici di rifrazione nelle differenti direzioni di propagazione. Il fenomeno riesce molto evidente appunto adoperando un cristallo con birifrazione forte; se si adoperasse un cristallo con birifrazione bassa (ad es. berillo: 0,006), lo sfocamento delle due immagini sarebbe difficilmente percepibile.

Usando due schermi, uno fisso (la parete), e l'altro mobile (un foglio di cartone), si può misurare il valore del ritardo, che è evidentemente funzione del potere birifrangente e dello spessore del cristallo usato.

Questo particolare ci permette di determinare il « carattere ottico », o « segno » di un cristallo. Come si vede in fig. 4, una volta individuata la posizione dei due raggi ω ed ε e dopo aver messo a fuoco sullo schermo fisso l'immagine più lontana, si può stabilire il carattere ottico del cristallo in proiezione per mezzo dello schermo mobile.

— se sullo schermo mobile è a fuoco l'immagine fissa, cioè $I\omega$, il minerale è otticamente positivo;

— se viceversa sullo schermo mobile davanti a quello fisso è a fuoco l'immagine ruotante $I\varepsilon$, il minerale è otticamente negativo.

II. OSSERVAZIONI A LUCE SEMIPOLARIZZATA

(vedi fig. 2, colonne 2 e 3)

Chiamiamo " luce semipolarizzata ", per quanto l'espressione non sia ortodossa, la luce normale intercettata da un solo elemento polarizzatore, cioè con inserito solo il polarizzatore fra sorgente luminosa ed oggetto. Chiameremo inoltre " piano di vibrazione ε " il piano in cui giacciono le due diagonali minori delle due facce rombiche parallele, delle quali una è attaccata al vetrino – e che porta la macchiolina nera –. Normalmente a questo " piano ε " esiste il " piano di vibrazione ω ", che contiene le due diagonali maggiori delle stesse facce.

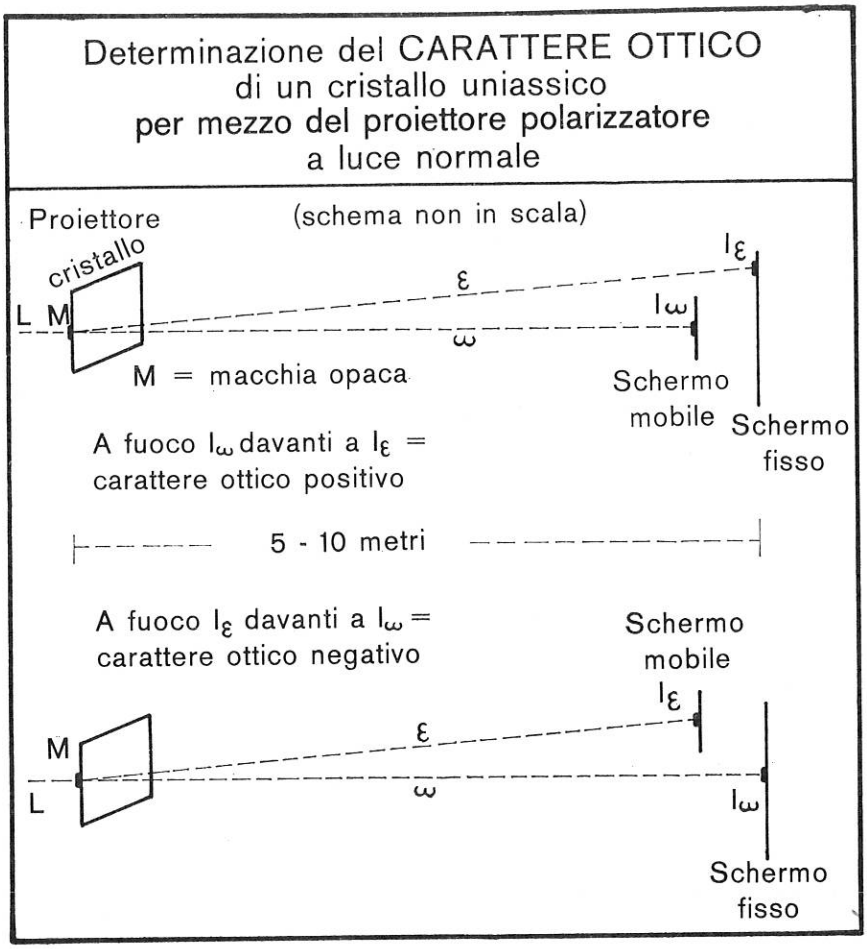

Figura 4

Sia scelto come posizione di partenza l'orientamento del cristallo di calcite in modo che la diagonale minore sia parallela al filo del reticolo N-S, con l'angolo triedro acuto rivolto verso l'alto.

a) Con il cristallo in questa posizione di partenza ed il polarizzatore inserito (piano di vibrazione del polarizzatore coincidente con il filo N-S del reticolo) si osserva una sola macchia/immagine nera, decentrata e perciò ε; l'altra immagine, quella centrale, non appare. Ciò dimostra che il polarizzatore ha fermato totalmente il raggio ordinario, mentre ha lasciato passare totalmente quello straordinario.

Ruotando lentamente il cristallo si osserva l'indebolimento dell'immagine ε e la comparsa dell'altra immagine ω; avvicinandosi ai 90° di rotazione l'immagine ε va scomparendo, mentre quella ω va facendosi sempre più intensa fino a rimanere sola. In questa posizione infatti il piano ω coincide con il piano di polarizzazione del polarizzatore: passa totalmente il raggio ordinario, mentre quello straordinario è totalmente eliminato.

Continuando a ruotare oltre i 90° il fenomeno si ripete altre tre volte fino ai 360°; varia solo la posizione dell'immagine sul cerchio, come descritto sopra.

b) Togliendo il polarizzatore ed inserendo l'analizzatore, con piano di vibrazione coincidente con il filo E-W del reticolo, si osserva analogamente lo stesso fenomeno di alternanza delle immagini ordinaria e straordinaria, in ordine inverso a quanto sopra esposto.

III. OSSERVAZIONI A LUCE POLARIZZATA

(vedi fig. 2, colonna 4).

Con tutti due gli elementi polarizzanti inseriti, o, come si usa dire, a nicols incrociati, la luce è totalmente polarizzata. Si osserva infatti come tutte due le immagini scompaiano quando le diagonali corta e lunga della faccia del romboedro coincidono con le direzioni di polarizzazione: una immagine è fermata dal polarizzatore, l'altra è fermata dall'analizzatore, come s'è visto sopra. Si ha quella che si chiama « estinzione ».

In posizioni oblique del cristallo passa solo una frazione della quantità di luce portata da ciascun raggio, ordinario e straordinario; perciò le immagini appaiono sensibilmente indebolite. Il massimo di illuminazione è raggiunto con inclinazione a 45°, quando cioè le due frazioni raggiungono il valore metà per ciascuno, che in due ricostituiscono l'intero.

IV. CONCLUSIONI.

Tutti gli aspetti fondamentali del fenomeno ottico in luce parallela nei cristalli sono contenuti in questa semplice esperienza: rifrazione, birifrazione, potere birifrattivo e carattere ottico. È stato qui esposto il fenomeno soltanto in senso qualitativo; non sarà inutile comunque accennare che ci deve essere una relazione numerica fra la distanza delle due immagini e la distanza di queste dall'oggetto; inoltre ci deve essere pure un rapporto

numerico fra la distanza fra le due immagini attribuite al "ritardo" e la birifrazione del cristallo impiegato, nonché dello spessore dello stesso.

L'esperienza così realizzata ha uno svantaggio basilare: sono necessari cristalli spessi ma trasparenti. In compenso non ha bisogno di attrezzature particolarmente complicate, come sono il microscopio, le lamine di mica, gesso, quarzo, ecc., per non parlare del compensatore di Berek.

ZUSAMMENFASSUNG – Es wird hier über die Möglichkeit einer makroscopischen, d.h. ohne Polarisiermikroscopo, Beweisung von Doppelbrechung und von Lichtverspätung eines Strahles in den 2-achsigen Kristallen berichtet. Ein durchsichtiges, 1-centimeter dickes Kalzit-kristall mit einem schwarzen Fleck über die $\bar{1}00$-Fläche, wird in einem Polarisierprojektor durchstrahlt: die 2 schwarzen Bilder, d.h. das ω-, und das ε-Bild, werden auf einem ständigen und auf einem verstellbaren, 5 meter weit, Schirm beobachtet, erst mit nicht- und dann mit polarisiertem Licht. Der umdrehbare Objekttisch des Projektors hilft in der Bezeigung der optischen Eigenschaften der Kristallen. Selbstverständlich ist diese Erfahrung nur mit durchsichtigen Kristallen möglich.

SUMMARY – The fundamental optical properties of crystals are shown here by a not-microscopic apparatus. One calcite crystal, one centimeter thick, with a black dot on the $\bar{1}00$ face, is mounted on a polarizing projector, fitted with a turning table. The two black images, the ω-ray and the ε-ray, are projected on two screens, one fixed and one moveable at some 5-6 meter distance. The various phenomena of refringence, bi-refringence, position of optical planes in the crystal, the retarding of one ray on the other, and so on, are macroscopically very clearly apparent. Obviously the experience is possible only with transparent crystals.