

*Dedicato a Luigi  
un caro amico che mi mancherà tanto...*

*F. Bellatreccia*

## **LA KIRCHERITE, UN NUOVO MINERALE DEL GRUPPO CANCRINITE-SODALITE**

*Fabio Bellatreccia<sup>1</sup>, Fernando Cámara<sup>2,3</sup>,  
Giancarlo Della Ventura<sup>1</sup>, Mickey E. Gunter<sup>4</sup>,  
Marco Sebastiani<sup>5</sup> e Andrea Cavallo<sup>6</sup>*

<sup>1</sup> Dipartimento Scienze Geologiche, Università Roma Tre, Largo San Leonardo Murialdo 1, 00146 Roma

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze Mineralogiche e Petrologiche, Università di Torino, Via Valperga Caluso 35, 10125 Torino

<sup>3</sup> Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Università di Pavia, via Ferrata 1, 27100 Pavia

<sup>4</sup> Department of Geological Sciences, University of Idaho, Moscow Idaho, 83844-3022, USA

<sup>5</sup> Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale, Università Roma Tre, Via della Vasca Navale 79, I-00146 Roma

<sup>6</sup> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.), Via di Vigna Murata 605, I-00143 Roma

### **Riassunto**

La kircherite è un nuovo minerale del gruppo della cancrinite-sodalite di formula:  $[\text{Na}_{90}\text{Ca}_{36}\text{K}_{18}]_{\Sigma=144}(\text{Si}_{108}\text{Al}_{108}\text{O}_{432})(\text{SO}_4)_{36}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (IMA 2009-086). Cristallizza nel sistema trigonale, gruppo spaziale  $R\bar{3}2$ , con parametri di cella:  $a = 12,8770(7)$  Å,  $c = 95,244(6)$  Å,  $V = 13677(1)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 1$ . La kircherite è contenuta in un proietto vulcanico di tipo "sanidinitico" raccolto a Valle Biachella, Sacrofano (Roma).

### **Ritrovamento, giacitura ed ambiente di formazione**

La kircherite si trova all'interno di un proietto vulcanico olocristallino di tipo "sanidinitico" di circa 15 cm di diametro, raccolto da Luigi Mattei a Valle Biachella, sui Monti Sabatini, nei pressi dell'abitato di Sacrofano, Roma (De Rita *et al.*, 1983). Il proietto è costituito da una roccia granulare di colore grigiastro, piuttosto compatta con poche e piccole cavità, composta essenzialmente da sanidino in cristalli di dimensioni millimetriche e dall'aspetto poco o punto alterato, con sodalite, plagioclasio albitico, mica scura e granato andraditico. Come fasi accessorie sono presenti: titanite, zirconio, fluorite, ossidi di ferro, "pirocloro", "britholite", "allanite" ed un silicato di Ca, Th, U e REE. Così come per tutte le cancrinite del Lazio, anche la formazione della kircherite è riconducibile ai processi metasomatici legati all'attività vulcanica (Bellatreccia e Della Ventura, 2005).

### **Il nome**

Il nome kircherite è in onore di Athanasius Kircher (Geisa, 12 maggio 1602 – Roma, 28 novembre 1680), gesuita, filosofo e storico tedesco del XVII secolo (Fig. 1). Considerato come uno dei più grandi studiosi della sua epoca, Kircher è stato paragonato al confratello gesuita Roger Boscovich e a Leonardo da Vinci per l'ampiezza dei suoi interessi e la profondità delle sue osservazioni. Pubblicò circa 44 lavori nei campi più disparati, passando dagli studi orientali alla medicina, dal magnetismo, alla geologia, la vulcanologia e la mineralogia. Viene conside-

rato il padre della egittologia moderna, ma tra le sue opere più famose c'è il *Mundus Subterraneus* (1665). L'opera, che raccoglie gran parte dei suoi studi sulla geologia ma non solo, è tra i più completi testi sulle scienze naturali del tempo, tanto da essere considerato il primo lavoro scientifico sull'idrogeologia ed il carsismo.

Athanasius Kircher arriva a Roma dalla Germania nel 1633 dove, sotto il patrocinio di Papa Urbano VIII, insegna presso il *Collegium Romanum*, matematica fisica e lingue orientali e nel 1651 vi fonda il *Museum Kircherianum*. Qui Kircher espose reperti etruschi, romani ed egizi, minerali, pietre preziose e una moltitudine di altre meraviglie naturali e artificiali



Fig. 1. Athanasius Kircher (1602-1680).

tra cui macchine per il moto perpetuo, giochi ottici, la coda di una sirena e le ossa di un gigante. Dopo la sua morte il museo subì una lenta decadenza fino al 1870 quando il Collegio Romano venne occupato dall'esercito italiano e fu istituito il Liceo Visconti. Le collezioni del Museo kircheriano furono smembrate e divise fra l'attuale Museo Nazionale Preistorico Etnografico "Luigi Pigorini" di Roma e i musei universitari della "Sapienza". Solo una parte delle collezioni (comprendente gli obelischi di Kircher, alcuni strumenti scientifici, una collezione di marmi pregiati, alcuni animali impagliati, e una spermatoteca settecentesca raccolta dal botanico Liberato Sabbati) restò patrimonio del Liceo.

### Morfologia e caratteristiche fisiche

La kircherite si presenta frequentemente in pacchetti di sottili cristalli pseudo-esagonali in associazione parallela sia negli interstizi fra i cristalli di sanidino (Fig. 2), sia nelle piccole cavità della roccia (Fig. 3); più raramente è in singoli individui di abito più tozzo e dalle facce finemente striate, costituiti dalla combinazione del pinacode {0001} e dal romboedro {10 $\bar{1}$ 1} (Fig. 4). Le dimensioni dei gruppi di cristalli non superano i 2 o 3 mm di diametro e 1 mm di spessore, mentre lo spessore dei singoli individui non eccede 0,5 mm. Da incolore a grigiastro e trasparente negli individui più piccoli e sottili, a bianca ed opaca nel caso degli individui più grossi e alterati. La lucentezza va da grassa a sericea e lo striscio è bianco.

È fluorescente ai raggi ultravioletti: in

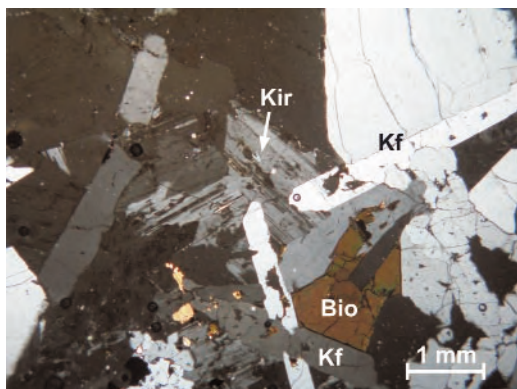


Fig. 2. Microfotografia su sezione sottile a polarizzatori incrociati della kircherite (kir) con sanidino (Kf) e biotite (bio).



Fig. 3. Gruppo di cristalli di kircherite (0,6 mm) in associazione parallela all'interno di una cavità della roccia. Coll. e foto L. Mattei.

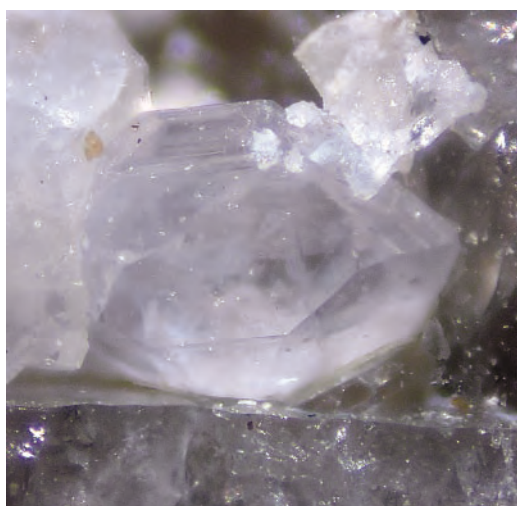
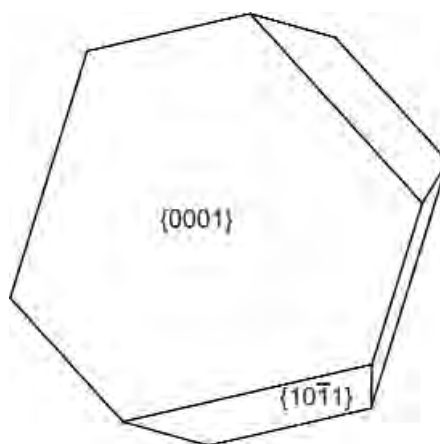


Fig. 4. Individuo singolo di kircherite (0,8 mm) e modello morfologico idealizzato costituito dal pinacoide {0001} e dal romboedro {10 $\bar{1}$ 1}. Coll. e foto L. Mattei.



rosa chiaro a onda lunga e rosso scuro a onda corta. È fragile, con frattura irregolare e sfaldatura facile secondo {0001}.

La densità misurata per immersione in soluzione di bromoformio-etanolo, è  $D_{\text{mis}} = 2,42 \text{ g/cm}^3$  mentre quella calcolata su base strutturale è  $D_{\text{calc}} = 2,457 \text{ g/cm}^3$ .

La durezza, misurata con il metodo di indentazione, è pari a 5,5 sulla scala di Mohs. Otticamente la kircherite non è pleocroica, è uniassica negativa con indici di rifrazione  $\omega = 1,510(2)$  ed  $\epsilon = 1,502(2)$ .

Attualmente, tutto il materiale utilizzato per la caratterizzazione della specie

(olotipo e alcuni cotipi) è depositato presso il Museo di Mineralogia dell'Università di Roma "Sapienza" con il numero d'inventario MMUR 33035/1.

### Composizione chimica

La composizione chimica della kircherite è stata determinata presso l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) di Roma con una microsonda JEOL JXA 8200 WD-ED; i risultati analitici (media di 18 analisi) e la formula chimica calcolata sulla base di 216 (Si+Al) atomi per formula unitaria (apfu) sono riportati in Tabella 1.

La formula chimica ideale è  $[\text{Na}_{90}\text{Ca}_{36}\text{K}_{18}]_{\Sigma=144}(\text{Si}_{108}\text{Al}_{108}\text{O}_{432})(\text{SO}_4)_{36} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , la quale richiede:  $\text{K}_2\text{O}$  4,11,  $\text{Na}_2\text{O}$  13,51,  $\text{CaO}$  9,78,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  26,68,  $\text{SiO}_2$  31,44,  $\text{SO}_3$  13,96,  $\text{H}_2\text{O}$  0,52; totale 100,00% in peso.

Il contenuto di  $\text{H}_2\text{O}$  è stato stimato, e successivamente verificato dal raffinamento strutturale, assumendo che l'acqua sia contenuta esclusivamente nelle gabbie tipo cancrinite.

### Spettroscopia di assorbimento ai raggi infrarossi

Le analisi in spettroscopia di assorbimento ai raggi infrarossi (IR) della kircherite sono state condotte presso il Dipartimento di Scienze Geologiche, Università Roma Tre con uno spettrometro Nicolet Magna 760. Lo spettro di assorbimento su polveri (Fig. 5) mostra un'ampia banda tra  $3740\text{ cm}^{-1}$  e  $3000\text{ cm}^{-1}$  dovuta agli assorbimenti delle molecole di  $\text{H}_2\text{O}$  e a  $2338\text{ cm}^{-1}$  un piccolo ma evidente assorbimento dovuto alla presenza di

Tabella 1. Composizione chimica e formula della kircherite calcolata sulla base di  $\Sigma(\text{Si}+\text{Al}) = 216$  apfu.

% in peso		apfu	
$\text{SiO}_2$	32,05	Si	108,13
$\text{Al}_2\text{O}_3$	27,13	Al	107,87
$\text{FeO}$	0,07	$\Sigma$	216,00
$\text{K}_2\text{O}$	4,38		
$\text{CaO}$	8,75	Ca	31,63
$\text{Na}_2\text{O}$	13,62	$\text{Fe}^{2+}$	0,20
$\text{MgO}$	0,01	K	18,85
$\text{MnO}$	0,02	Na	89,09
$\text{TiO}_2$	0,01	Ti	0,03
$\text{SO}_3$	12,87	Mg	0,05
Cl	0,35	Mn	0,06
F	0,05	$\Sigma$	139,91
$\text{H}_2\text{O}^\ddagger$	0,61		
$\text{CO}_2^*$	0,02	$\text{SO}_4^{2-}$	32,58
	99,94	$\text{Cl}^-$	2,00
O=F,Cl	0,10	$\text{F}^-$	0,53
Total	99,84	$\text{H}_2\text{O}^\ddagger$	6,86
		$\text{CO}_3^{2-*}$	0,09

<sup>‡</sup> Calcolato sulla base del raffinamento strutturale;

\* Calcolato secondo Ballirano *et al.* (1996).

$\text{CO}_2$  molecolare (Della Ventura *et al.* 2005, 2007, 2008).

A frequenze più basse, oltre ad alcuni deboli assorbimenti dell'acqua e del  $\text{CO}_3^{2-}$ , compare una serie di bande molto intense dovute agli assorbimenti del  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $1200\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$ ) e dei gruppi tetraedrici

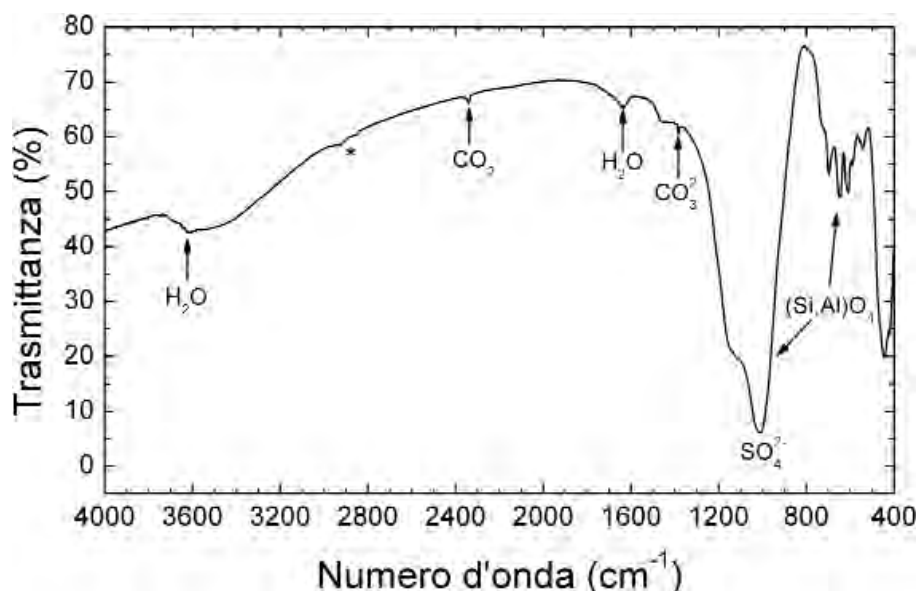


Fig. 5. Spettro di assorbimento ai raggi infrarossi su polveri della kircherite. \*Impurezze.

(Si,Al)O<sub>4</sub> (da 1200 a 400 cm<sup>-1</sup>; Moenke 1974; Ross 1974). In particolare, la serie di bande comprese tra 800 e 500 cm<sup>-1</sup> (737, 698, 651, 609, 590, 546, 446 cm<sup>-1</sup>) è tipica della kircherite e può essere un valido ausilio per la distinzione di questa specie rispetto alle altre cancriniti, anche se occorre osservare, che esiste una certa affinità di questa porzione dello spettro IR con quelli di haüyna, franzinite e fantappiéite (Ballirano *et al.* 1996; Cámara *et al.* 2005, 2010).

#### Dati cristallografici e descrizione della struttura

La struttura della kircherite è stata determinata in diffrazione ai raggi X su cristallo singolo presso il Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente dell'Università di Pavia con un diffrattome-

tro Bruker AXS Smart Apex con radiazione MoK $\alpha$  ( $\lambda = 0,71073 \text{ \AA}$ ). La simmetria della struttura della kircherite è trigonale, gruppo spaziale *R*32, con parametri di cella  $a = 12,8770(7) \text{ \AA}$ ,  $c = 95,244(6) \text{ \AA}$ ,  $V = 13677(1) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 1$ . Il valore finale del parametro di accordo del raffinamento strutturale è pari a  $R = 8,5\%$  (Cámara *et al.* 2012, in stampa).

Il diffrattogramma ai raggi X su polveri della kircherite è stato misurato con un diffrattometro automatico Scintag X1 con radiazione CuK $\alpha$  ( $\lambda = 1,5405929 \text{ \AA}$ ) presso il Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università Roma Tre. I dieci riflessi più intensi ed i parametri di cella raffinati nel gruppo spaziale *R*32 sono riportati in Tabella 2.

La struttura della kircherite, come quelle di tutte le altre cancriniti, è costituita dall'impilamento di strati di anelli

Tabella 2. Parametri di cella e diffrattogramma su polveri della kircherite: primi dieci riflessi più intensi.

$a = 12,881(5) \text{ \AA}; c = 95,28(5) \text{ \AA}; V = 13,690(10) \text{ \AA}^3$					
$h$	$k$	$l$	$d_{mis.} (\text{ \AA})$	$2\theta_{mis.} (^\circ)$	$I/I_0 (\%)$
1	2	11	3,799	23,45	52
3	0	0	3,717	23,93	100
1	0	25	3,604	24,68	53
1	2	14	3,584	24,84	60
0	0	27	3,551	25,24	24
2	0	23	3,313	26,80	19
2	1	19	3,232	27,64	65
2	2	0	3,220	27,70	38
2	1	28	2,648	33,85	100
0	0	36			
3	1	32	2,147	42,13	21

esagonali di tetraedri centrati da Si e Al, lungo l'asse cristallografico  $c$  (Bellatreccia e Della Ventura, 2005). In particolare, essa è costituita da 36 strati secondo una sequenza ...ACABCABCACBCABC ABCABCABCABCABCAB..., dove A, B e C rappresentano le posizioni degli anelli esagonali all'interno della cella elementare.

Questa sequenza di strati genera un'impalcatura strutturale di tetraedri Si/Al, in cui si distinguono delle cavità piuttosto larghe e dalle geometrie ben definite dette *gabbie*, nelle quali sono contenuti Na, Ca, K, H<sub>2</sub>O, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. In particolare ci sono: 6 gabbie tipo cancrinite ( $\epsilon$ ), 24 gabbie tipo sodalite (S) e 6 gabbie tipo losod<sup>1</sup> (Lo), che si alternano, secondo una

stessa sequenza  $\epsilon$ SSSLoSSSLoSSS $\epsilon$ , su tre colonne sfalsate l'una rispetto all'altra, di  $\frac{1}{3}$  lungo l'asse  $c$  (Fig. 6). Le gabbie tipo cancrinite contengono H<sub>2</sub>O, Ca e Na (Fig. 7), mentre le gabbie tipo sodalite e losod contengono i gruppi solfato ed i cationi Na, K e Ca (Figg. 8 e 9).

**La kircherite e le relazioni con le altre fasi del gruppo cancrinite-sodalite**

La kircherite appartiene al gruppo della cancrinite-sodalite, sottogruppo delle cancrinite a sequenze complesse (Bellatreccia e Della Ventura, 2005). Nell'ambito di questo sottogruppo, la kircherite, essendo costituita dall'impilamento di 36 strati, è la cancrinite che ha la più lunga sequenza descritta sino ad oggi.

Così come per la fantappièite e la franzinite (Bellatreccia *et al.*, 2009), la

<sup>1</sup> Il losod è una fase sintetica isostrutturale alla bystrite.

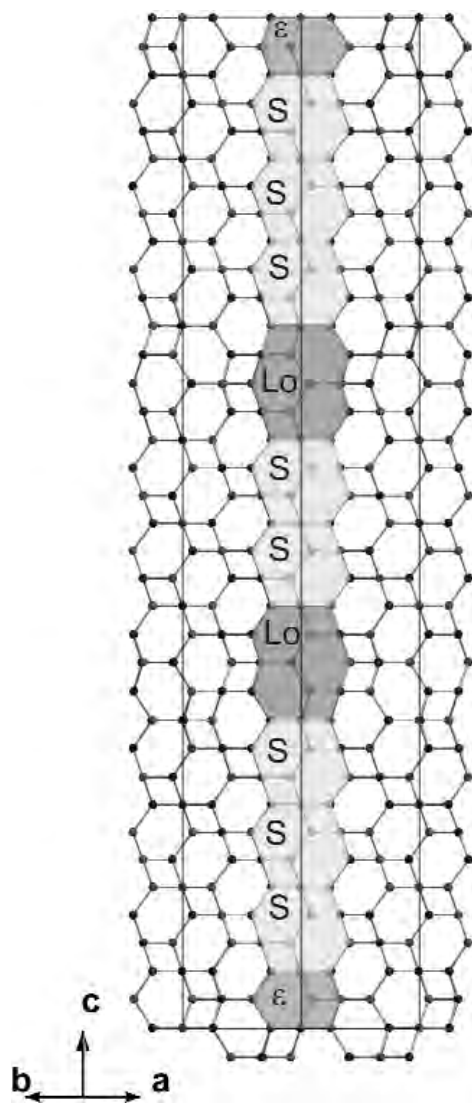


Fig. 6. Impilamento e sequenza delle gabbie nella kircherite: (ε) gabbia tipo cancrinite, (S) gabbia tipo sodalite, (Lo) gabbia tipo losod.

struttura della kircherite può essere derivata da quella della sodalite, che ha una sequenza di tipo ABCABCABC..., in cui ogni 11 strati si verifica uno “scarto”

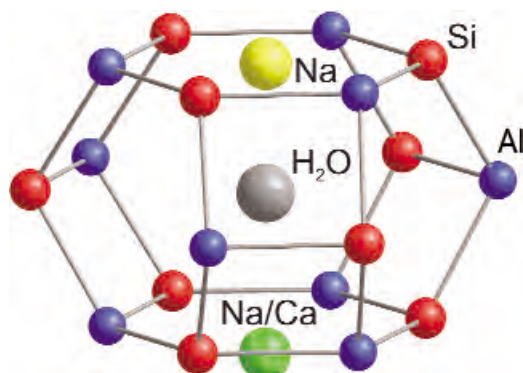


Fig. 7. Gabbia tipo cancrinite (ε) nella struttura della kircherite.

che interrompe la regolarità della sequenza sodalitica. Nel caso della fantappièite questo scarto si verifica ogni 10 strati mentre nella franzinite ogni 9. Questo significa che la kircherite rappresenta il terzo membro di un nuovo sottogruppo di cancriniti la cui struttura è costituita da una successione ordinata di blocchi a sequenza tipo sodalite separati da uno strato tipo cancrinite s.s. (sequenza ABA-

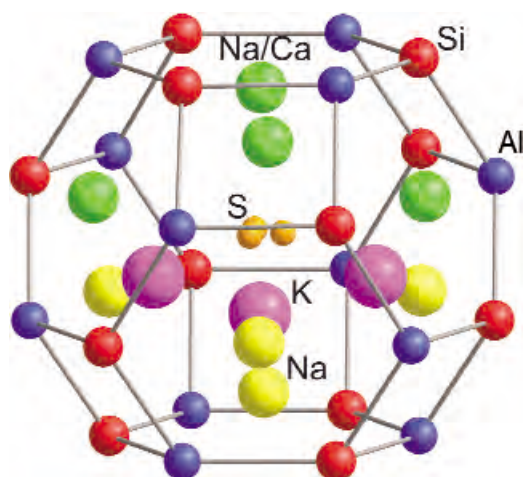


Fig. 8. Gabbia tipo sodalite (S) nella struttura della kircherite.

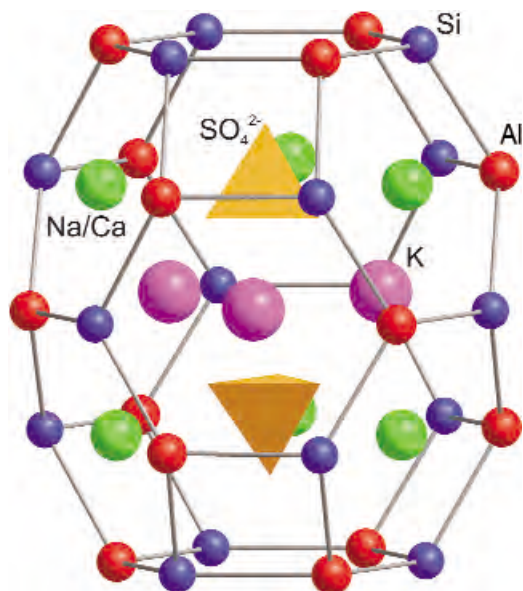


Fig. 9. Gabbia tipo losod (Lo) nella struttura della kircherite.

BAB...) secondo uno schema: (nsod) (can) dove  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ . Questo significa che, oltre a franzinite (8)(2), la fantappièite (9)(2) e alla kircherite (10)(2) potrebbero esistere anche le sequenze (3)(2), (4)(2), (5)(2), (6)(2), (7)(2), (11)(2)....

#### BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- BALLIRANO P., MARAS A., BUSECK P.R., (1996) - Crystal chemistry and IR spectroscopy of Cl and  $\text{SO}_4^{2-}$  bearing cancrinite-like minerals - *American Mineralogist*, 81, 1003-1012.
- BALLIRANO P., BONACCORSI E., MARAS A., MERLINO S., (2000) - The crystal structure of franzinite, the ten-layer mineral of the cancrinite-group - *Canadian Mineralogist*, 38, 657-668.
- BELLATRECCIA F., DELLA VENTURA G., (2005) - I minerali del gruppo della cancrinite - "Il Cercapietre", notiz. del G.M.R., 1/2-2005, 14-24.

- BELLATRECCIA F., CÁMARA F., BINDI L., DELLA VENTURA G., MOTTANA A., GUNTER M.E., SEBASTIANI M., (2009) - La fantappièite, nuovo minerale del gruppo sodalite-cancrinite - "Il Cercapietre", notiz. del G.M.R., 1/2-2009, 6-15.
- CÁMARA F., BELLATRECCIA F., DELLA VENTURA G., MOTTANA A., (2005) - Farneseite, a new mineral of the cancrinite - sodalite group with a 14-layer stacking sequence: occurrence and crystal structure - *European Journal of Mineralogy*, 17, 839-846.
- CÁMARA F., BELLATRECCIA F., DELLA VENTURA G., MOTTANA A., BINDI L., GUNTER M.E., SEBASTIANI M., (2010) - Fantappièite, a new mineral of the cancrinite - sodalite group with a 33-layer stacking sequence: occurrence and crystal structure - *American Mineralogist*, 95, 472-480.
- CÁMARA C., BELLATRECCIA F., DELLA VENTURA G., GUNTER M.E., SEBASTIANI M., CAVALLO A., (2012) Kircherite, a new mineral of the cancrinite - sodalite group with a 36-layer stacking sequence: occurrence and crystal structure - *American Mineralogist*, in stampa.
- DELLA VENTURA G., BELLATRECCIA F., BONACCORSI E., (2005) -  $\text{CO}_2$  in minerals of the cancrinite-sodalite group: pitiglianoite - *European Journal of Mineralogy*, 17, 847-851.
- DELLA VENTURA G., BELLATRECCIA F., PARODI G.C., CÁMARA F. and PICCININI M., (2007) - Single-crystal FTIR and X-ray study of vishnevite, ideally  $[\text{Na}_6(\text{SO}_4)][\text{Na}_2(\text{H}_2\text{O})_2](\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{24})$  - *American Mineralogist*, 92, 713-721.
- DELLA VENTURA G., BELLATRECCIA F., PICCININI M., (2008) - Channel  $\text{CO}_2$  in feldspathoids: new data and new perspectives - *Rendiconti Accad. Lincei*, 19, 141-159.
- DE RITA D., FUNICIELLO R., ROSSI U., SPOSATO A., (1983) - Structure and evolution of the Sacrofano-Baccano caldera, Sabatini volcanic complex, Rome - *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 17, 219-236.
- KIRCHER A., (1665) - *Mundus Subterraneus*, in *XII Libros Digestus*. - Joannem Janssonium & Elizeum Weyerstraten, Amsterdam.
- MOENKE H.H.W., (1974) - Silica, the three-dimensional silicates, borosilicates and beryllium silicates - In *The infrared spectra of Minerals*, The Mineralogical Society, V.C. Farmer (Ed.), London, 365-382.
- ROSS S.D., (1974) - Sulphates and other oxy-anions of Group VI - In *The infrared spectra of Minerals*, The Mineralogical Society, V.C. Farmer (Ed.), London, 423-444.