

DARIA PONGILUPPI, ELIO PASSAGLIA, ERMANNO GALLI

SU ALCUNE ZEOLITI DELLA SARDEGNA (*)

RIASSUNTO. — Vengono descritte le zeoliti identificate in campioni di rocce magmatiche raccolte in località della Sardegna già note in letteratura e in altre non ancora segnalate. Le zeoliti identificate sono: analcime, heulandite, stilbite, stellerite, stellerite sodica, chabasite, levyna, erionite, laumontite, mordenite e mesolite.

Delle chabasiti, heulanditi, stilbiti e mesoliti è stato determinato il contenuto in cationi scambiabili; inoltre delle chabasiti vengono riportate le dimensioni reticolari e sulle heulanditi è stato eseguito il test consigliato da Alietti (1972) per la loro esatta identificazione.

Dati cristallografici più completi vengono riportati per la stellerite, la stellerite sodica, le levyne e le erioniti.

ABSTRACT. — The identified zeolites in the magmatic rocks both from localities already mentioned in literature and from hitherto unexplored localities of Sardinia are described. These are: analcime, heulandite, stilbite, stellerite, sodian stellerite, chabazite, levynite, erionite, laumontite, mordenite, mesolite.

The exchangeable cation content of chabazites, heulandites and mesolites was determined; furthermore the unit cell dimensions of chabazites are reported. The identification of heulandites was made through the test advised by Alietti (1972).

The crystal chemical properties of stellerite, sodian stellerite, levynites and erionites are reported.

Introduzione.

La Sardegna è stata interessata dall'Oligocene in poi da due tipi di effusioni vulcaniche, uno pre- l'altro post-elveziano. Le effusioni pre-elveziane, di tipo andesitico e trachitico, sono molto estese in quasi tutta la Sardegna, mentre quelle post-elveziane, di tipo basaltico, af-

(*) Questo lavoro è stato eseguito con il contributo del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma.

fiorano quasi esclusivamente nella zona del Montiferro e della Planargia (Lauro e Deriu, 1957; Deriu, 1962 e 1964). Queste rocce sono caratterizzate spesso da cavità e fratture tappezzate da mineralizzazioni secondarie oggetto di studio da parte di numerosi autori (Jervis, 1881; Lovisato, 1897; Rimatori, 1900, 1902; Riva, 1901; Deprat, 1907, 1913; Millosevich, 1908; Pelacani, 1908; Serra, 1909; Billows, 1925 a, b; Martinez, 1929; Deriu, 1954). I minerali di neoformazione da questi riconosciuti sono rappresentati quasi esclusivamente da zeoliti, ed in particolare da: mesolite, stilbite, chabasite, heulandite, analcime, thomsonite, laumontite e scolecite.

Scopo di questa ricerca è stato il riesame dei minerali di neoformazione provenienti sia da località già note in letteratura sia da nuovi giacimenti.

Metodi di studio.

L'identificazione di tutti i minerali è stata fatta mediante spettri di polvere eseguiti con una camera Guinier-De-Wolf (radiazione $\text{CuK}\alpha$), usando il Si metallico come standard esterno. I cationi scambiabili sono stati determinati mediante spettrofotometro ad assorbimento atomico usando un Perkin-Elmer mod. 303.

Per le heulanditi è stato determinato il contenuto dei cationi scambiabili ed eseguito il test consigliato da Alietti (1972) per la distinzione heulandite 1-heulandite 2-clinoptilolite, consistente nell'osservare il comportamento del riflesso (020) sul materiale riscaldato successivamente alla temperatura di 250°, 300°, 350°, 400°, 450°, 500°, 550°, 600°, 650°.

Sulle chabasiti sono stati determinati il contenuto dei cationi scambiabili e le dimensioni della cella elementare. A tale scopo le interferenze sono state raccolte con un diffrattometro Philips, usando il quarzo come standard interno; le dimensioni reticolari sono state calcolate mediante un programma di minimi quadrati scritto per il calcolatore IBM 1620. Successivamente è stato calcolato il valore del rapporto $R = \text{Si}/(\text{Si} + \text{Al} + \text{Fe}''')$ mediante l'equazione riportata da Passaglia (1970).

L'esatta identificazione delle zeoliti fibrose è stata fatta in base al contenuto dei cationi scambiabili.

Sulle stilbiti è stata eseguita solo l'analisi chimica parziale.

L'esposizione dei risultati ottenuti comprende due parti:

1) nella prima vengono descritti con esattezza i punti di raccolta dei campioni, l'aspetto macroscopico della roccia, l'abito cristallino presentato dalle varie zeoliti e la loro associazione; inoltre vengono riportati per le heulanditi il risultato del test consigliato da Alietti (1972), e per le chabasiti le dimensioni della cella elementare oltre al rapporto R da queste dedotto;

2) nella seconda parte sono riportati in forma tabellare i risultati delle determinazioni dei cationi scambiabili al fine di poter più facilmente osservare le variazioni chimiche presenti all'interno dei vari tipi di zeoliti.

In questa seconda parte i vari campioni sono contrassegnati dalla sigla loro assegnata al momento della descrizione. Studi cristallografici completi sulla stellerite, sulle levyne, sulle erioniti e sulla stellerite sodica sono stati oggetto di altre pubblicazioni. Pertanto nel presente lavoro di ognuna di queste zeoliti vengono riportate le sole caratteristiche chimico-fisiche essenziali (dimensioni reticolari e formula chimica).

Zone di raccolta.

Schematicamente le zone prese in esame possono essere raggruppate come segue:

- 1) Osilo (SS) (F. 180)
- 2) Villanova Monteleone-Monteleone Rocca Doria (SS) (F. 193)
- 3) Montresta (NU) (F. 193)
- 4) Scanu di Montiferro (NU) (F. 206)
- 5) Bosa-Alghero (NU) (F. 192-193-206)
- 6) Ghilarza-Ardauli (CA) (F. 206)
- 7) Nurri (CA) (F. 218)
- 8) Monastir (CA) (F. 226-234)
- 9) Pula (CA) (F. 234)
- 10) Isola della Maddalena (SS) (F. 168).

Osilo.

I campioni provengono da:

a) una cava abbandonata sulla sinistra della S.S. 127 che da Osilo porta a Sassari, circa cinquanta metri dopo la cava Marini, ad una decina di chilometri da Sassari;



Fig. 1. — Stellerite di Villanova Monteleone (cristalli allungati) con heulandite (cristallo prismatico) (ingr. 8).

b) località « Su Marralzu » lungo la carrareccia che da Osilo scende a Sassari; la carrareccia ha inizio sulla destra della S.S. 127, subito dopo un mobilificio.

In entrambi i casi i minerali di neoformazione sono stati rinvenuti in una roccia grigio verdastra di tipo trachiandesitico. Sono stati trovati: laumontite ed heulandite oltre a quarzo e calcite.

La laumontite, più abbondante dell'heulandite si presenta sia in cristalli aciculari, bianchi, spesso a struttura fibroso raggiata, sia come aggregati lamellari di color rosa chiaro o bianco madreperlaceo.

L'heulandite (H1) si presenta in grossi cristalli prismatici facilmente sfaldabili in lamelle bianco-trasparenti, spesso associati a grossi cristalli di calcite.

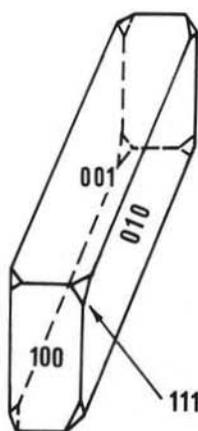


Fig. 2. — Morfologia della stellerite di Villanova Monteleone.

Il comportamento al calore ha permesso di classificare questa heulandite di tipo 1. Molto abbondante è il quarzo in cristalli ben formati, spesso violetti.

Villanova Monteleone-Monteleone Rocca Doria.

I campioni provenienti da questa località sono stati raccolti in tre diversi punti e precisamente:

a) In località « Bena e Luna »: sul lato destro della strada che da Villanova Monteleone porta a Monteleone Rocca Doria, circa 1,5 Km dopo il cimitero di Villanova. La roccia è una andesite molto eterogenea, a volte friabile e di colore chiaro, a volte di colore scuro e brecciata. I minerali qui rinvenuti sono: stellerite, heulandite e tridimite.

Le stellerite (Galli e Passaglia, 1973) si presenta in aggregati sub-paralleli policristallini bianco-trasparenti (vedi fig. 1). I singoli cristalli, schematizzati in fig. 2, risultano costituiti dai tre pinacoidi $\{100\}$ $\{010\}$ $\{001\}$ e dalla bipiramide $\{111\}$.

La faccia a maggior sviluppo è la (010) che è anche piano di perfetta sfaldatura e di contatto negli aggregati. Le dimensioni reticolari sono: $a = 13.599 \pm 0.004 \text{ \AA}$; $b = 18.222 \pm 0.004 \text{ \AA}$; $c = 17.863 \pm 0.003 \text{ \AA}$; la formula chimica: $(\text{Ca}_{3.78}\text{Mg}_{0.03}\text{Sr}_{0.01}\text{Na}_{0.17}\text{K}_{0.14})_{\text{tot}=4.13} [(\text{Al}_{7.93}\text{Fe}_{0.06})_{\text{tot}=7.99}\text{Si}_{23.02}] \text{O}_{72} \times 28.10\text{H}_2\text{O}$ ($Z = 2$).

L'heulandite (H2), che si presenta in grossi cristalli prismatici con perfetta sfaldatura (010), risulta di tipo 1. La tridimite in sot-

tili lamelle esagonali spesso intrecciate, è presente solo dentro alle cavità ellissoidali che interessano i noduli più seuri della roccia (vedi fig. 3).

b) In località Monte Giuargada: i campioni fanno parte di massi erratici e di spuntoni rocciosi affioranti dal terreno lungo la mulattiera che si trova sul lato destro della strada Villanova Monteleone-Monteleone Rocca Doria, circa 2 Km dopo il cimitero di Villa-

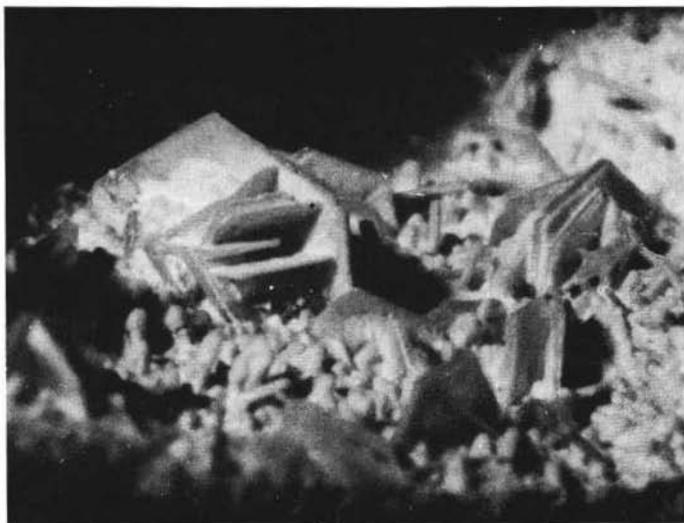


Fig. 3. — Tridimite di Villanova Monteleone (ingr. 10).

nova Monteleone. Tale mulattiera è facilmente individuabile perchè inizia in prossimità di un ampio piazzale al centro del quale si trova un cancello metallico sostenuto da opere in muratura. Poco oltre, in prossimità di un abbeveratoio, la mulattiera si biforca; pigliando a destra, dopo un chilometro circa, si arriva nella zona dove sono presenti i massi erratici e gli spuntoni rocciosi. La roccia si presenta compatta, di colore rossastro, attraversata da numerose sottili vene chiare. Vi si osservano cavità occupate da heulandite (H3) in piccoli cristalli lamellari bianco-trasparenti, che è risultata di tipo 2.

c) In una cava abbandonata sul lato destro della strada che da Villanova Monteleone porta a Monteleone Rocca Doria, circa 5 Km dopo Villanova. La roccia di colore rossastro, in alcune zone assume

un aspetto brecciato, essendo formata da piccoli noduli, lenticelle e granuli di vario colore (dal rosso al verdastro, al nero). Nelle cavità di queste zone si osserva heulandite (H4) sia in cristalli microscopici sia in grossi cristalli limpidi e facilmente sfaldabili. Tale heulandite è risultata essere di tipo 2.

Montresta.

In questa zona i campioni sono stati raccolti in cinque punti diversi, di cui quattro a nord di Montresta e uno a sud verso Bosa.

a) Il primo punto si trova al bivio per Padria sulla strada Montresta-Villanova Monteleone. La roccia è un'andesite di color rossiccio, compatta, con numerose grosse fratture e cavità in cui sono presenti: mesolite, chabasite e levyna oltre ad abbondante calcite.

La mesolite (M1) si presenta in grosse sferule bianco-opache a struttura fibroso raggiata.

La chabasite si presenta in cristalli irregolari trasparenti, spesso intimamente associata alla levyna anch'essa in cristalli irregolari ma meno trasparenti.

La separazione delle due zeoliti è molto difficile per cui sulla chabasite non è stata eseguita alcuna analisi cristallografica, mentre sui pochi cristalli di levyna non contaminati da chabasite è stata eseguita l'analisi chimica alla microsonda e calcolate le dimensioni reticolari. I dati cristallografici ottenuti (Passaglia, Galli, Rinaldi, in corso di stampa) sono:

$$a = 13.376 \pm 0.004 \text{ \AA}, c = 22.728 \pm 0.005 \text{ \AA};$$



b) Il secondo punto di raccolta si trova sulla sinistra della strada che da Montresta porta a Villanova Monteleone (passando per la Scuola Agraria), 50 metri prima del ponte sul torrente Camaraxius. La roccia è simile alla precedente, però di colore variabile dal rossiccio al grigio. Sono stati riconosciuti i seguenti minerali: mesolite, chabasite, heulandite e calcite.

La mesolite (M2) ha un aspetto del tutto simile a quella raccolta nel punto precedentemente descritto.

La chabasite è in grossi cristalli romboedrici trasparenti, l'heulandite in cristalli lamellari vitrei trasparentissimi. Le dimensioni re-

ticolari della chabasite (Ch1) sono: $a = 13.794 \pm 0.004 \text{ \AA}$; $c = 15.131 \pm 0.004 \text{ \AA}$; da cui si ricava il rapporto $\text{Si}/(\text{Si} + \text{Al} + \text{Fe}''')$ uguale a 0.67. L'heulandite (H5) è risultata essere del tipo 1.

c) Il terzo punto si trova sulla destra della strada che da Montresta porta a Padria, prima del bivio Padria-Villanova Monteleone, in prossimità del paracarro Km 15. La roccia è un basalto notevolmente alterato e sbriciolato. Sono state riconosciute: chabasite, mesolite, heulandite ed analcime.

La chabasite (Ch2) si presenta in bei cristalli romboedrici spesso geminati; le sue dimensioni reticolari sono: $a = 13.786 \pm 0.006 \text{ \AA}$; $c = 15.041 \pm 0.006 \text{ \AA}$, da cui risulta un rapporto $\text{Si}/(\text{Si} + \text{Al} + \text{Fe}''')$ uguale a 0.70.

La mesolite (M3) appare ancora in fibre bianche associate a costituire noduli fibroso-raggiati di varie dimensioni.

L'heulandite e l'analcime costituiscono un miscuglio microcristallino che si presenta sotto forma di pasta tenera leggermente rosata, che riempie piccole cavità arrotondate.

d) Il quarto punto di raccolta si trova lungo la carrareccia che ha inizio sul lato destro della strada asfaltata alla fine dell'abitato di Montresta (andando verso Padria); l'affioramento da cui provengono i campioni si trova circa 100 metri oltre l'inizio della carrareccia stessa. La roccia madre di colore grigio, omogenea e compatta, era originariamente un basalto ora notevolmente trasformato. Le zeoliti ivi rinvenute sono: stilbite, chabasite, heulandite, mesolite, erionite e levyna.

La stilbite (S1) si presenta in cristalli lamellari, bianco opachi, associati nei tipici fasci a covoni.

La chabasite (Ch3) si presenta in forme diverse: in cristalli trasparenti pseudocubici di dimensioni variabili; in microcristalli bianco trasparenti che formano un sottile strato sul quale si trovano cristalli di stilbite; come pasta bianca microcristallina su cui poggiano cristalli di mesolite. Le dimensioni reticolari sono: $a = 13.800 \pm 0.007 \text{ \AA}$, $c = 15.063 \pm 0.006 \text{ \AA}$, da cui si ricava un rapporto $\text{Si}/(\text{Si} + \text{Al} + \text{Fe}''')$ uguale a 0.69.

La mesolite (M4) si presenta in cristalli filiformi bianchissimi ed in cristalli aciculari trasparenti formanti sferule a struttura fibroso raggiata.

L'heulandite (H6) che si trova in grossi cristalli prismatici trasparenti facilmente sfaldabili in lamelle, è risultata del tipo 1.

La levyna e l'erionite strettamente associate danno luogo a lamelle intrecciate, spesse qualche decimo di mm e lunghe anche 5 mm (vedi fig. 4). Solo al microscopio binoculare è possibile vedere che tali

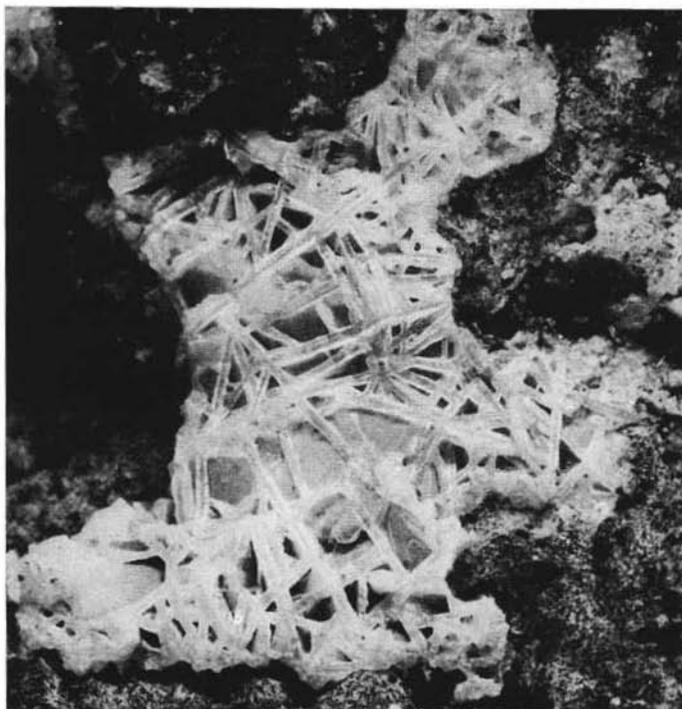


Fig. 4. — Levyna ed erionite di Montresta (ingr. 8).

lamelle sono costituite da una zona centrale vitrea trasparente, compresa tra due bande laterali di cristalli aciculari disposti perpendicolarmente rispetto alle lamelle stesse. Questa caratteristica associazione è particolarmente visibile al microscopio elettronico (vedi fig. 5). Le dimensioni reticolari della levyna (Passaglia, Galli, Rinaldi; in corso di stampa) sono: $a = 13.337 \pm 0.007 \text{ \AA}$; $c = 22.953 \pm 0.008 \text{ \AA}$ e la sua formula chimica è risultata:



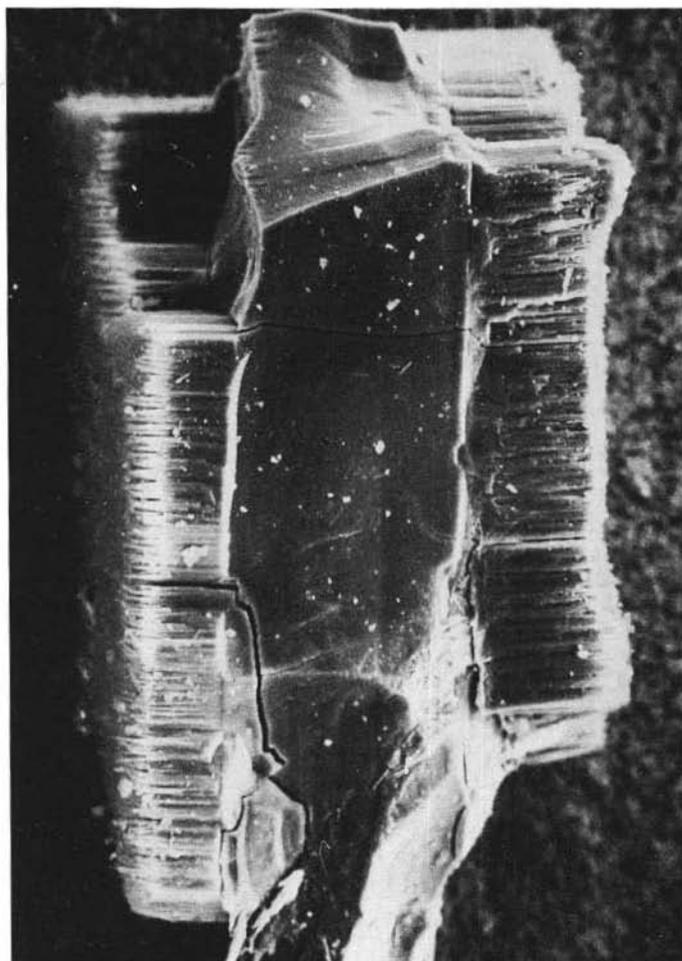


Fig. 5. — Fotografia al microscopio elettronico mostrandone l'epitassia fra la levyna (parte centrale compatta) e l'erionite (strati laterali fibrosi di Montresta (ingr. 260).

L'erionite (Passaglia, Galli, Rinaldi, in corso di stampa) presenta come costanti reticolari $a = 13.34 \pm 0.02 \text{ \AA}$, $c = 15.16 \pm 0.01 \text{ \AA}$ e come formula chimica



e) L'ultimo punto di raccolta si trova nello scavo eseguito per la costruzione del municipio di Montresta. La roccia è un basalto di tipo olivinicco, con colore variabile dal grigio chiaro al grigio scuro, ed è ricoperta in alcuni punti da patine di alterazione rossicce. Sono stati riconosciuti: stilbite, chabasite, heulandite, e mesolite.

La stilbite (S2) si presenta nei tipici aggregati a covone.

La chabasite (Ch4) si presenta in cristalli romboedrici trasparenti, spesso geminati per compenetrazione. Le dimensioni reticolari sono risultate: $a = 13.787 \pm 0.005 \text{ \AA}$, $c = 15.044 \pm 0.004 \text{ \AA}$; da cui si deduce un rapporto $\text{Si}/(\text{Si} + \text{Al} + \text{Fe}''') = 0.70$.

L'heulandite (H7) che si presenta sia in cristalli trasparentissimi di forma irregolare sia in bei cristalli trasparenti a contorno quasi esagonale, è risultata di tipo 1.

La mesolite (M5) è in cristalli fibrosi a struttura raggiata.

Seanu di Montiferro.

Lungo la strada che da Seanu porta a Cuglieri, in prossimità del ponte sul torrente Cambone, c'è sulla sinistra un sentiero che, partendo dal ponte, costeggia il torrente verso monte. Dopo circa 300 m il torrente si biforca e il sentiero gira sulla destra seguendo un ramo del rio Cambone noto agli abitanti del luogo con il nome di rio Alghentes. Poco oltre si incontra un cancello il cui muretto di sostegno è costituito da blocchi di fonolite in cui è possibile osservare cavità occupate da minerali di neoformazione. La stessa roccia affiora 200 m oltre il cancello, sul lato destro del rio Alghentes, in corrispondenza di una malga situata sul lato sinistro del rio stesso.

In queste fonoliti sono state riconosciute: mesolite ed analcime.

La mesolite (M6) si presenta in piccoli cristalli abbastanza trasparenti, globosi e fratturati, oppure in sferule di colore bianco latte costituite da aghetti a struttura raggiata.

L'analcime forma uno strato trasparente di aspetto vetroso ricoprente alcune sferule di mesolite; più raramente si presenta in microcristalli icositetraedrici trasparentissimi.

Bosa-Alghero.

I campioni sono stati raccolti in quattro diversi punti lungo la strada in costruzione (al momento della raccolta dei campioni) che da Bosa porta ad Alghero, poco oltre la torre Argentina. I luoghi esatti

di raccolta sono noti agli abitanti del luogo con i nomi « Managu », « Savalesagheggia », « Sassuiles » e « Capo Marargiu ».

La roccia madre è sempre un basalto più o meno alterato, di colore variabile dal grigio chiaro al rossiccio.

I minerali qui rinvenuti sono: chabasite, laumontite ed analcime oltre a calcite e quarzo in piccoli ciuffi trasparenti.

La chabasite (Ch5) si presenta sia in romboedri trasparenti di varie dimensioni frammisti a cristalli più piccoli di calcite, sia in cristalli irregolari ricoperti da una patina giallastra, o in masse microcristalline trasparenti. Le dimensioni reticolari sono: $a = 13.794 \pm \pm 0.005 \text{ \AA}$, $c = 14.997 \pm 0.003 \text{ \AA}$. Il rapporto $\text{Si}/(\text{Si} + \text{Al} + \text{Fe}''')$ calcolato è 0.71.

La laumontite si presenta in lamelle bianche alquanto trasparenti o rosate ricoperte, a volte, da chabasite oppure da analcime.

L'analcime dà luogo a grossi cristalli icositetraedrici per lo più regolari.

Ghilarza-Ardauli.

I campioni sono stati raccolti in due punti diversi lungo la strada che da Ghilarza porta ad Ardauli.

a) Il primo punto si trova sul lato sinistro della strada, nello sbancamento situato circa 20 m prima del ponte di fondovalle che descrive un'ampia curva ad U sulla destra.

La roccia, di colore bruno-rossiccio, ricoperta in parecchie zone da una patina ocracea, è di tipo basaltico.

Nelle fratture in essa presenti sono state identificate: heulandite, stilbite e laumontite.

L'heulandite (H8), che si presenta in spesse lamine trasparenti che simulano una simmetria esagonale, è risultata del tipo 1.

La stilbite (S3) appare in aggregati di cristalli lamellari dalla tipica struttura a covone.

La laumontite dà luogo ad incrostazioni bianco-opache facilmente sfaldabili.

b) Il secondo punto si trova oltre il bivio per Sorradile, presso la chiesa di San Quirico.

La roccia, di color verde malachite nei punti più freschi, assume un colore che va dall'ocra al rossiccio dove è alterata; può essere definita di tipo basaltico in senso lato.

Le numerose fratture in essa presenti sono occupate da stilbite ed heulandite associata a quarzo.

La stilbite (S4) si presenta in lamelle allungate; l'heulandite, intimamente associata a quarzo, costituisce con questo una pasta microcristallina bianca.

Nurri.

I campioni esaminati sono stati raccolti in massi erratici e spuntoni rocciosi affioranti nei pressi di Nurri.

Il punto esatto di raccolta si raggiunge salendo per circa 100 m lungo una mulattiera che inizia in prossimità dell'abbeveratoio, sulla destra della strada Orroli-Nurri, poco dopo Nurri.

La roccia, che può essere definita un basalto, si presenta molto compatta e di colore grigio scuro, ed è caratterizzata dalla presenza di numerose bollosità occupate da: chabasite, mesolite, levyna ed erionite.

La chabasite (Ch6), molto abbondante, si presenta in cristalli romboedrici bianco-trasparenti, a volte geminati per compenetrazione. Le sue dimensioni reticolari sono: $a = 13.800 \pm 0.008 \text{ \AA}$, $c = 15.111 \pm 0.007 \text{ \AA}$; da cui si ricava il rapporto $\text{Si}/(\text{Si} + \text{Al} + \text{Fe}''')$ di 0.68.

La mesolite (M7) è stata osservata in una sola cavità ed appare in masserelle globulari molto resistenti, di color bianco-latte, con evidente struttura fibroso-raggiata.

La levyna e l'erionite si trovano strettamente associate.

La levyna, in piccole cavità, appare in cristalli lamellari a contorno esagonale, isolati o più frequentemente intersecantesi tra loro. La presenza dell'erionite, in sottili straterelli di esilissimi cristalli fibrosi ai bordi e all'interno delle lamelle, è stata osservata solo al microscopio elettronico (fig. 6).

Lo spessore degli straterelli di erionite è talmente esiguo per cui non è stato possibile, nemmeno con la microsonda, l'analisi chimica di questa zeolite.

I dati cristallografici della levyna e quelli cristallografici dell'erionite (Passaglia, Galli, Rinaldi; in corso di stampa) sono: per la levyna: $a = 13.338 \pm 0.004 \text{ \AA}$; $c = 23.014 \pm 0.009 \text{ \AA}$;



per l'erionite: $a = 13.32 \pm 0.02 \text{ \AA}$; $c = 15.15 \pm 0.02 \text{ \AA}$.

Monastir.

I campioni sono stati raccolti in due località nei pressi di Monastir.

a) La prima si trova in prossimità del paese di Monastir, e precisamente sulla collina tra la superstrada Cagliari-Sassari e il paese stesso e lungo le pendici del monte Zara.



Fig. 6. — Fotografia al microscopio elettronico mostrandente l'epitassia fra levynite (strati compatti) ed erionite (strati fibrosi) di Nurri (ingr. 640).

La roccia è eterogenea e molto alterata. Il colore varia da un beige-rosato al grigio chiaro. Anche la compattezza è molto variabile e dipende dal grado di alterazione.

I minerali di neoformazione ivi identificati sono: analcime, chabasite, heulandite e mordenite.

L'analcime si presenta in cristalli subsferici di dimensioni anche notevoli, bianchi trasparenti.

La chabasite appare o in romboedri bianchi trasparenti (Ch7) o in bipiramidi esagonali schiacciate (Ch8) corrispondenti ai geminati descritti da Walker (1951) con «habitus 5» (Phacolite habitus). Le dimensioni reticolari dei cristalli romboedrici sono: $a = 13.781 \pm 0.006 \text{ \AA}$; $c = 15.003 \pm 0.004 \text{ \AA}$; da questi valori si ricava $\text{Si}/(\text{Si} + \text{Al} + \text{Fe}''')$ uguale a 0.71.

Le dimensioni dei cristalli bipiramidali sono: $a = 13.800 \pm 0.005 \text{ \AA}$; $c = 15.029 \pm 0.004 \text{ \AA}$; da cui si ricava $\text{Si}/(\text{Si} + \text{Al} + \text{Fe}''')$ uguale a 0.70.

L'heulandite (H9) si presenta in cristalli anche di notevoli dimensioni, prismatici, facilmente sfaldabili, bianchi trasparenti, raramente rosa pallido. Essa è risultata di tipo 1.

La mordenite, molto rara, si presenta in piccoli ciuffi di cristalli aciculari finissimi, bianchi, associata ad heulandite e appoggiata su questa.

b) L'altro punto di raccolta si trova nella cava Mozzarini, cava che si trova sulle pendici del monte Oladri. La località è raggiungibile mediante una carrareccia che si diparte sulla destra della superstrada Cagliari-Sassari, pochi chilometri prima di Monastir.

La roccia, compatta, è di colore grigio scuro, ma talora assume colori variabili dal bianco-giallastro al rosso per la presenza di incrostazioni argillose.

Fra i minerali osservati nelle ampie fratture e nelle cavità della roccia sono state riconosciute heulandite e mordenite.

L'heulandite (H10), molto abbondante, si presenta in cristalli lamellari di varie dimensioni, bianchi, facilmente sfaldabili in lamelle, o in piccoli cristalli lamellari rossicci che costituiscono ampie incrostazioni o vene.

La mordenite, rara come già nella località precedente, è in ciuffi di cristalli aciculari bianchi impiantati sulla heulandite.

Pula.

I campioni esaminati provengono da due diverse località nei pressi di Pula.

a) Il primo si trova lungo la strada Cagliari-Teulada (S.S. 195), poco prima del bivio per Pula centro, nello sbancamento eseguito per la costruzione della strada stessa.

La roccia, per lo più molto alterata, ha un colore variabile dal bruno-rossastro al verde chiaro.

Vi sono state riconosciute stilbite, heulandite e mordenite.

La stilbite (S5), molto abbondante, si presenta in cristalli lamellari bianchi, trasparenti, talvolta ricoperti da una patina giallastra.

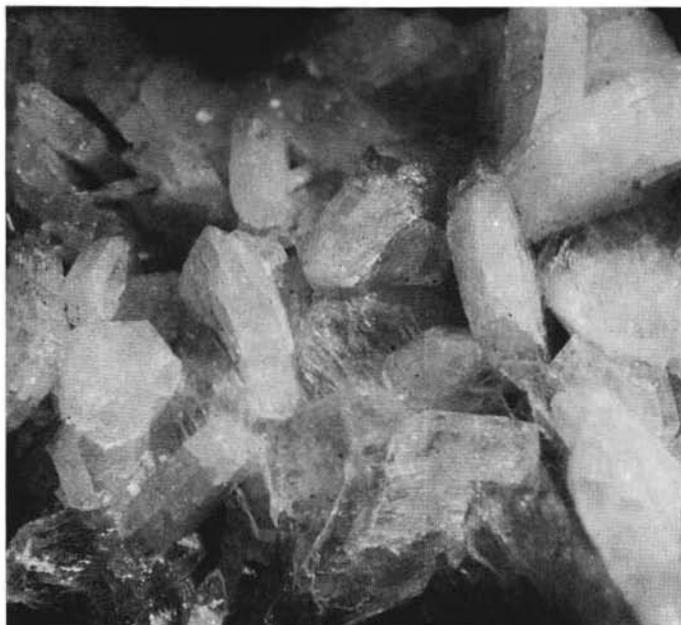


Fig. 7. — Stellerite di sodio di Capo Pula (ingr. 8).

L'heulandite (H11) forma incrostazioni e vene di colore rossiccio, facilmente sfaldabili in sottili lamelle. Questa heulandite è risultata di tipo 1.

La mordenite, molto rara, si presenta in ciuffi di cristalli aciccolari bianchi poggianti sulle incrostazioni di heulandite sopra descritte.

b) L'altro punto di raccolta si trova a Capo Pula e, più precisamente, nella zona archeologica di Nora; i campioni sono stati raccolti sulla parete a picco sul mare, proprio sotto la torre di Sant'Efisio.

La roccia, molto alterata, presenta un colore dal beige-rosato al bruno.

Sono state identificate: stellerite sodica ed heulandite.

La stellerite sodica si presenta in lamine bianche trasparenti o leggermente rosate, variamente intrecciate fra loro e occupanti fratture della roccia (fig. 7). I cristalli meglio formati presentano la morfologia schematizzata in figura 8. Lo studio cristallografico (Passaglia, Pongiluppi; in corso di stampa) ha rivelato trattarsi di una stilbite rombica come la stellerite, ma con un diverso gruppo spaziale (Amma anzichè Fmmm) e a prevalente contenuto in sodio fra i cationi scambiabili. Le dimensioni reticolari sono:

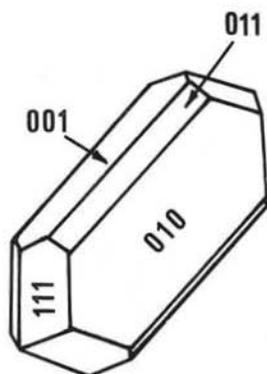


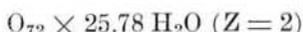
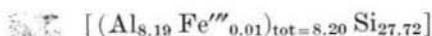
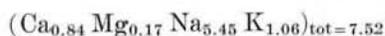
Fig. 8. — Morfologia della stellerite di sodio di Capo Pula.

$$a = 13.643 \pm 0.002 \text{ \AA};$$

$$b = 18.200 \pm 0.003 \text{ \AA};$$

$$c = 17.842 \pm 0.003 \text{ \AA}.$$

La sua formula chimica è risultata:



L'heulandite (H12) forma sottili incrostazioni rossicce alla base della stellerite di sodio. Essa è risultata di tipo 1.

Isola della Maddalena.

I campioni sono stati raccolti a Cala Francese, una piccola insenatura della costa occidentale dell'isola. La roccia è un granito leggermente rosato.

Unica zeolite ritrovata è la stilbite che si presenta in piccoli cristalli trasparenti, giallastri, di forma irregolare.

Caratteristiche chimiche di alcuni tipi di zeoliti.

I risultati delle analisi chimiche, relative ai soli cationi scambiabili, sono riportati rispettivamente in tabella I per le heulanditi, in tabella II per le stilbiti, in tabella III per le chabasiti e in tabella IV per le mesoliti. Il confronto dei dati ottenuti ci offre la possibilità di fare alcune semplici osservazioni all'interno di ognuno di questi gruppi di zeoliti.

Heulanditi.

Il loro contenuto cationico è sempre del tipo più comune per questo minerale, con il Ca normalmente prevalente sulla somma Na + K. Di particolare interesse è il contenuto in SrO e BaO: mentre il BaO è normalmente presente in piccole percentuali (al massimo 0.53%),

TABELLA I. — *Analisi chimica parziale delle heulanditi.*

	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Na ₂ O	1.94	0.77	0.78	0.80	1.25	0.88
K ₂ O	1.15	1.97	1.92	1.66	1.18	2.27
CaO	4.60	5.31	4.53	4.49	6.28	6.90
MgO	0.04	0.33	0.73	0.76	0.23	0.04
SrO	3.26	0.44	0.33	0.51	0.68	0.55
BaO	0.21	0.18	0.34	0.17	0.21	0.31
MnO	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
Fe ₂ O ₃	0.11	0.06	0.15	0.45	0.16	0.22

	H7	H8	H9	H10	H11	H12
Na ₂ O	0.74	1.72	2.14	1.78	1.94	1.80
K ₂ O	2.28	0.99	0.79	0.49	0.98	0.89
CaO	6.79	5.98	5.26	6.14	4.55	4.66
MgO	0.06	0.05	0.06	0.65	0.20	0.38
SrO	0.53	1.16	1.51	0.89	0.78	0.81
BaO	0.14	0.21	0.40	tr.	0.41	0.53
MnO	tr.	tr.	tr.	0.14	tr.	tr.
Fe ₂ O ₃	0.25	0.05	0.10	0.06	0.15	0.40

il contenuto in SrO è sempre superiore a quello del BaO; esso presenta inoltre notevoli variazioni raggiungendo il valore massimo di 3.26% nel campione H1. Da notare che i campioni H5, H6, H7 raccolti a Montresta e quelli H11 e H12 raccolti a Pula, già classificati da Lovisato come heulanditi baritiche, risultano in effetti contenere più SrO che BaO.

Stilbiti.

I campioni risultano di tipo normale con il Ca prevalente, ma non privi di Na e K.

TABELLA II. — *Analisi chimica parziale delle stilbiti.*

	S1	S2	S3	S4	S5
Na ₂ O	1.46	2.80	0.73	0.89	0.89
K ₂ O	0.41	0.12	0.20	0.17	0.13
CaO	7.56	7.67	7.10	7.30	7.32
MgO	0.05	0.03	0.12	0.14	0.16
SrO	tr.	tr.	tr.	tr.	0.08
BaO	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
MnO	tr.	0.01	0.01	tr.	tr.
Fe ₂ O ₃	0.03	0.09	0.69	0.24	0.04

TABELLA III. — *Analisi chimica parziale delle chabasiti e loro rapporto calcolato R [= Si/(Si + Al + Fe''')].*

	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch5	Ch6	Ch7	Ch8
Na ₂ O	0.90	1.03	0.84	0.46	1.66	1.13	2.35	1.83
K ₂ O	1.11	0.73	2.12	0.56	1.51	0.86	0.26	1.72
CaO	9.39	8.99	7.82	9.96	6.26	10.00	6.98	6.98
MgO	0.07	0.13	0.13	0.02	0.31	0.29	0.05	0.35
SrO	0.78	0.85	1.00	0.38	0.44	0.66	0.09	0.31
BaO	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.16	tr.	tr.
MnO	0.01	0.01	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
Fe ₂ O ₃	0.13	0.03	0.02	0.11	0.04	0.06	0.04	tr.
R	0.67	0.70	0.69	0.70	0.71	0.68	0.71	0.70

Chabasiti.

Abbiamo ritenuto opportuno riportare in questa tabella oltre all'analisi chimica parziale anche il rapporto Si/(Si + Al + Fe''') calcolato dalle dimensioni reticolari. Sia per contenuto cationico che per rapporto Si/Al le chabasiti studiate risultano del tipo più comune-

mente diffuso con il calcio prevalente sugli altri cationi e rapporto $Si/(Si + Al + Fe''')$ compreso fra 0.67 e 0.71. Di particolare interesse è il contenuto in SrO che raggiunge il valore massimo dell'1%.

TABELLA IV. — *Analisi chimica parziale delle mesoliti.*

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Na ₂ O	2.86	4.55	4.95	4.85	5.08	10.23	3.68
K ₂ O	0.11	0.06	0.06	0.06	0.08	0.10	0.21
CaO	11.51	11.46	8.99	9.00	9.16	5.00	10.86
MgO	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.13
SrO	0.03	0.10	0.05	0.03	0.03	0.04	0.20
BaO	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	tr.
MnO	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.
Fe ₂ O ₃	0.10	0.05	0.09	0.06	0.09	0.09	0.12

Mesoliti.

Ad eccezione del campione M6, il contenuto in Ca ed Na, contenuto in base al quale vengono classificate le zeoliti fibrose, corrisponde a quello tipico delle mesoliti. Nel campione M6 si osserva un alto contenuto in sodio con corrispondente diminuzione del contenuto in Ca. Secondo gli studi sulle zeoliti fibrose fatti da Foster (1965) questo campione deve essere classificato come mesolite ad alto contenuto di Na.

Conclusioni.

Dal confronto delle zeoliti sarde citate in letteratura con quelle da noi rinvenute nelle stesse località, confronto riportato nella tabella V, possiamo avanzare alcune ipotesi sulla mancata conferma da parte nostra di alcune specie di zeoliti.

La mesolite di Osilo citata dal Serra (1909) corrisponde, molto probabilmente alla nostra laumontite, sia perchè la descrizione morfologica della mesolite corrisponde a quella da noi osservata per la laumontite, sia perchè l'analisi chimica riportata da Serra (1909) è tipica di una laumontite e non di una mesolite.

TABELLA V. — *Confronto fra le zeoliti citate in letteratura e quelle identificate nel presente lavoro.*

<i>Località</i>	<i>Letteratura</i>	<i>Presente Lavoro</i>
Osilo	Mesolite (Serra, 1909)	Laumontite Heulandite
Villanova-Monteleone	Heulandite (Serra, 1909)	Heulandite
Monteleone Rocca Doria	Heulandite baritica (Lovisato, 1897)	Stellerite
Montresta	Chabasite (Lovisato, 1897; Deprat, 1907 e 1913; Millosevich, 1908; Pelacani, 1908)	Chabasite
	Stilbite (Lovisato, 1897; Deprat, 1907 e 1913; Millosevich, 1908)	Stilbite
	Heulandite (Deprat, 1907 e 1913; Mil- losevich, 1908; Pelacani, 1908; Bil- lows, 1925a)	Heulandite
	Mesolite (Millosevich, 1908; Pelacani, 1908, Deprat, 1913; Billows, 1925a, b)	Mesolite
	Analcime (Deprat, 1913; Billows, 1925a)	Analcime
	Thomsonite (Deprat, 1913)	Erionite
	Scolecite (Billows, 1925b)	Levyna
Seanu di Montiferro	Mesolite (Deriu, 1954)	Mesolite Analcime
Bosa - Alghero		Chabasite Laumontite Analcime
Ghilarza - Ardauli	Heulandite (Negretti, 1957)	Heulandite Stilbite Laumontite
Nurri	Stilbite (Lovisato, 1897) Chabasite (Lovisato, 1897)	Mesolite Chabasite Levyna Erionite
Monastir	Analcime (Lovisato, 1897) Chabasite (Jervis, 1881) Heulandite (Martinez, 1929) Heulandite baritica (Lovisato, 1897) Stilbite (Lovisato, 1897)	Analcime Chabasite Heulandite Mordenite

Pula	Stilbite (Lovisato, 1897; Jervis, 1881) Heulandite baritica (Lovisato, 1897)	Stilbite Heulandite Stellerite sodica Mordenite
Isola della Maddalena	Stilbite (Rimatori, 1902; Riva, 1901) Chabasite (Rimatori, 1900 e 1902; Riva, 1901) Scolecite (Rimatori, 1902) Laumontite (Rimatori, 1902; Riva, 1901)	Stilbite

La thomsonite di Montresta citata da Deprat (1913) è molto dubbia in quanto l'identificazione fu fatta solo in base a proprietà ottiche di significato incerto; così pure la scolecite della stessa località citata da Billows (1925 b) classificata come tale in base ad un'analisi chimica definita dallo stesso autore « provvisoria ». In entrambi i casi probabilmente si trattava di mesolite. Da notare inoltre che l'unico lavoro recente sulle zeoliti fibrose è quello di Deriu (1954) che identifica come mesolite il campione di Seanu di Montiferro, campione anche da noi classificato come mesolite anche se di tipo particolare.

La stilbite di Nurri, classificata come tale da Lovisato (1897) solo in base al suo aspetto fibroso raggiato, probabilmente corrisponde alla nostra mesolite che si presenta, appunto, con identica morfologia.

Per quanto riguarda la stilbite di Monastir, citata da Lovisato (1897), si presume che il campione fu classificato come tale forse in base al suo aspetto fibroso-raggiato; cristalli con simile aspetto da noi osservati nei campioni di Monastir sono risultati mordenite: è possibile quindi che la stilbite di Lovisato fosse in effetti mordenite.

La mancata conferma della chabasite, scolecite, e laumontite nell'isola della Maddalena, citate da Riva (1901) e Rimatori (1902), è attribuibile alla difficoltà di rinvenire attualmente quei noduli pegmatitici all'interno del granito (noti ai cavaatori come « cancri della roccia ») nei quali si annidano le zeoliti, poichè le cave di granito sono state quasi tutte abbandonate.

Le heulanditi « baritiche » citate da Lovisato (1897) per Villanova Monteleone, Monastir e Capo Pula sono risultate, in base al contenuto cationico da noi determinato, povere di bario ma con apprezzabili contenuti in stronzio. Tenendo presente sia la difficoltà nel distin-

guere lo Sr dal Ba con i metodi di analisi allora in uso, sia il fatto che nelle zeoliti (ad eccezione della wellsite) il Ca risulta più facilmente sostituito dal Sr che dal Ba, è probabile che le heulanditi studiate da Lovisato (1897) non fossero effettivamente « baritiche ».

Ringraziamenti. - Gli autori desiderano ringraziare: il Prof. Glauco Gottardi per la revisione critica del manoscritto; la Prof. Eugenia Montanaro Gallitelli ed il Dr. Franco Russo per le fotografie eseguite al microscopio elettronico a scansione « Cambridge » del CNR operante presso l'Istituto di Paleontologia dell'Università di Modena.

BIBLIOGRAFIA

- ALIETTI A. (1972) - *Polymorphism and crystal-chemistry of Heulandites and Clinoptilolites*. Am. Min., vol. 57, 1448-1462.
- BILLOWS E. (1925 a) - *Studi cristallografici di minerali sardi*. s. 2^a, G. Ledda, Cagliari, 1-10.
- BILLOWS E. (1925 b) - *Analisi della natrolite della miniera di Nieddoris e delle altre zeoliti sarde* (Nota preliminare). V. Musanti, Cagliari, 1-7.
- DEPRAT M. (1907) - *Les éruptions posthelvétiques antérieures aux volcans récents dans le nord-ouest de la Sardaigne*. C.R.Ac.Sc.Fr., vol. 144, 1390-91.
- DEPRAT M. (1913) - *Les zeolites du basalt de Montresta (Sardaigne)*. Boll. Soc. Min. Fr., vol. 36, 181-192.
- DERIU M. (1954) - *Mesolite di Rio Cambone (Montiferro - Sardegna centro-occidentale)*. Per. Min., vol. 23, 37-47.
- DERIU M. (1962) - *Stratigrafia, cronologia e caratteri petrochimici delle vulcaniti « oligoceniche » in Sardegna*. Mem. Soc. Geol. It., vol. 3, 675-706.
- DERIU M. (1964) - *Notizie sulla costituzione geologica del Bosano, della Planargia e del Montiferro settentrionale e occidentale*. Monografia Regionale sul Bosano, Ass. Comm. di Bosa e Cuglieri, Bernardi, Parma, 1-80.
- FOSTER M. D. (1965) - *Studies of the zeolites. Composition of zeolites of the natrolite group and compositional relations among thomsonites gonnardites and natrolites*. U. S. Geol. Surv. Prof. Pap., 504-D, E, 1-10.
- GALLI E., PASSAGLIA E. (1973) - *Stellerite from Villanova Monte Leone, Sardinia*. Lithos, vol. 6, 83-90.
- JERVIS G. (1881) - *I tesori sotterranei dell'Italia. Parte terza. Regione delle isole*. Pagg. 38 e 187.
- LAURO C., DERIU M. (1957) - *Il vulcanismo cenozoico in Sardegna: le manifestazioni « oligoceniche »*. Congr. Geol. Int. XX Sess. Mexico, 469-486.
- LOVISATO D. (1897) - *Notizia sopra una Heulandite baritica di Pula con accenno alle zeoliti finora trovate in Sardegna*. Rend. Acc. Naz. Lincei, Cl. Sc. Fis. Mat. e Nat., vol. 6, 260-264.

- MARTINEZ G. (1929) - *Heulandite di Monastir*. Rend. Acc. Naz. Lincei, Cl. Sc. Fis. Mat. e Nat., vol. 9, 428-433.
- MILLOSEVICH F. (1908) - *Appunti di mineralogia sarda. Il giacimento di zeoliti presso Montresta*. Rend. Acc. Naz. Lincei, Cl. Sc. Fis. Mat. e Nat., vol. 17, 266-271.
- NEGRETTI G. (1957) - *Intercalazione sedimentaria nelle lipariti e nei tufi liparitici dei dintorni del Lago del Tirso (Sardegna centrale)*. Boll. Soc. Geol. It., vol. 76, 1-41.
- PASSAGLIA E. (1970) - *The crystal chemistry of chabazites*. Am. Min., vol. 55, 1278-1301.
- PASSAGLIA E., GALLI E., RINALDI R. - *Levynes and Erionites from Sardinia, Italy*. In corso di stampa.
- PASSAGLIA E., PONGILUPPI D. - *Sodian Stellerite from Capo Pula, Sardinia*. In corso di stampa.
- PELACANI L. (1908) - *Studio chimico delle zeoliti di Montresta (Sardegna)*. Rend. Acc. Naz. Lincei, Cl. Sc. Fis. Mat. Nat., s. 5^a, vol. 17, 16-70.
- RIMATORI C. (1900) - *Sulle chabasiti di Sardegna e della granulite di Striegau nella Slesia*. Rend. Acc. Naz. Lincei, Cl. Sc. Fis. Mat. Nat., s. 5^a, vol. 9, 146-151.
- RIMATORI C. (1902) - *La prehnite ed altre zeoliti nelle granuliti di Cala Francese (Isola della Maddalena, Sardegna)*. Rend. Acc. Naz. Lincei, Cl. Sc. Fis. Mat. Nat., vol. 11, 542-547.
- RIVA C. (1901) - *I feldispati del granito di Cala Francese (Isola della Maddalena, Sardegna) e alcuni minerali che li accompagnano*. Rend. R. Ist. Lomb. di Sc. e Lett., s. 2^a, vol. 34, 128-144.
- SERRA A. (1909) - *Studi intorno a minerali sardi. Alcune specie mineralogiche della provincia di Sassari*. Rend. Acc. Naz. Lincei, Cl. Sc. Fis. Mat. Nat., s. 5^a, vol. 18, 348-350.
- WALKER G. P. L. (1951) - *The amygdale minerals in the Tertiary lavas of Ireland. I. The distribution of Chabazite habits and zeolites in the Garron plateau area, county Antrim*. Min. Mag., vol. 29, 773-791.