

LUISA CONFORTO \*, MARIA CRISTINA DELITALA \*, ADRIANO TADDEUCCI \*

## COMPOSIZIONE ELEMENTARE ED ISOTOPICA DI URANIO E TORIO IN ALCUNE PIROCLASTITI DEI VULCANI SABATINI \*\*

**RIASSUNTO.** — Sono state misurate le concentrazioni dell'uranio e del torio e la loro composizione isotopica in alcuni dei termini più significativi delle formazioni piroclastiche sabatine, nonché nelle singole fasi minerali da esse separate. I tenori di uranio e torio nelle rocce sono piuttosto elevati (da 6 a 31 ppm U e da 52 a 113 ppm Th) mentre nei minerali separati si mantengono entro valori normali (da pochi decimi a qualche ppm). I due elementi sono concentrati nella pasta di fondo e la loro mobilità (in special modo quella dell'uranio) è dimostrata dalle variazioni dei rapporti isotopici  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  e  $^{233}\text{U}/^{232}\text{Th}$ . Per due campioni del Tufo giallo di Sacrofano è stato possibile stimare una data compresa fra 200.000 e 300.000 anni, in accordo con quella precedentemente stabilita da altri Autori.

**ABSTRACT.** — Uranium and thorium contents and their isotopic composition have been measured in some pyroclastic products from the Sabatini Volcanic district (north of Rome), as well as in separated minerals. The element contents are fairly high (ranging from 6 to 31 ppm U and from 52 to 113 ppm Th), whereas they remain within the normal value for the separated minerals (ranging from a few tenths to some ppm). Both uranium and thorium are enriched in the ground mass, and their mobility (particularly for uranium) is showed by the variations of the activity ratios  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  and  $^{233}\text{U}/^{232}\text{Th}$ . An age of 200.000 - 300.000 years has been estimated for two samples of the «Tufo giallo di Sacrofano», in agreement with that measured by other Authors.

### Introduzione

La distribuzione dell'uranio e del torio nelle rocce delle aree vulcaniche del Lazio settentrionale è stata ampiamente studiata da altri Autori (LOCARDI e SIRCANA, 1967), (LOCARDI e MITTEMPEGER, 1971), (LOCARDI, 1973), che hanno dimostrato come questi elementi si presentino, in tali formazioni, in concentrazioni piuttosto elevate. Questo lavoro ha come oggetto una ricerca sulla distribuzione degli stessi elementi nell'ambito delle diverse fasi di cui le rocce sono costituite, estesa anche alla loro composizione isotopica; in questo modo è possibile infatti raccogliere un maggior numero di informazioni riguardanti il comportamento dell'uranio e del torio sia durante la messa in posto delle formazioni, sia durante i processi successivi. Inoltre

\* Istituto di Geochimica dell'Università di Roma.

\*\* Lavoro eseguito nel quadro dei programmi del Centro di Studio per la Geochimica Applicata alla Stratigrafia Recente del C.N.R..

dall'esame dei rapporti di attività delle diverse specie isotopiche misurate, è possibile in qualche caso, trarre deduzioni di carattere geocronologico da confrontare con i risultati già ottenuti da altri Autori (EVERNDEN e CURTIS, 1965), (BONADONNA e BIGAZZI, 1969), (ALVAREZ et Al., 1976).

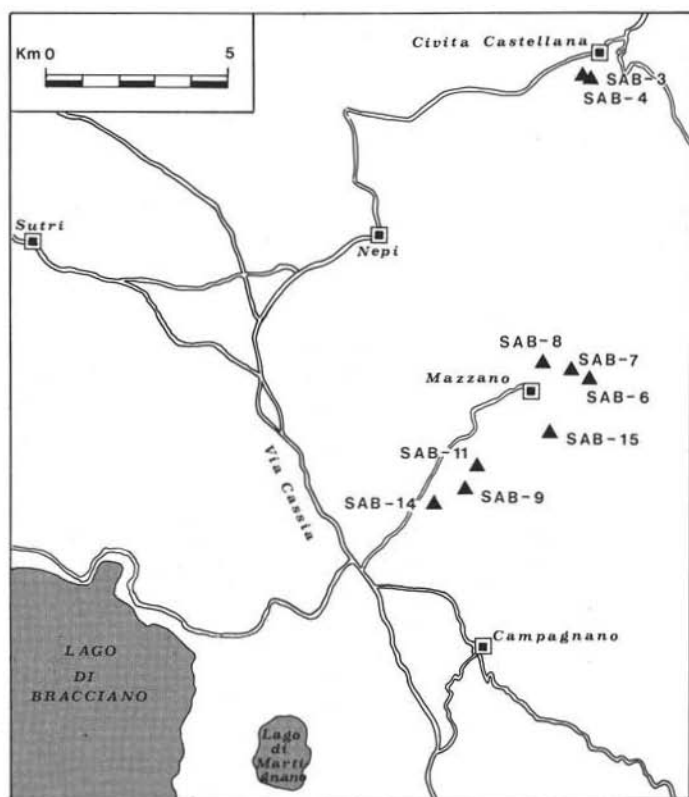


Fig. 1. — Ubicazione dei campioni esaminati.

### I materiali esaminati

Sono ben note le difficoltà che si incontrano nel separare le diverse fasi di una roccia. Nel caso in questione poi, anche a causa della metodologia analitica impiegata, consistente nella spettrometria  $\alpha$  (sulla quale non ci soffermeremo oltre, rimandando a precedenti lavori (TADDEUCCI, 1969), è necessario disporre di un quantitativo di minerali ammontante a circa 3 g, puro almeno al 95-99%. Per questi motivi, unitamente alla complicata procedura analitica che si impiega per la separazione dei complessi isotopici dell'uranio e del torio, i campioni analizzati sono rimasti necessariamente contenuti entro un numero abbastanza limitato. Sono state

quindi prese in considerazione le sole formazioni più significative dei Vulcani Sabatini, sulla base dei risultati di numerose indagini geologiche che in questa zona sono state svolte (SCHERILLO, 1940), (SCHERILLO, 1947), (MATTIAS, 1970), (MATTIAS e VENTRIGLIA, 1970), (ALVAREZ, 1973).

I campioni sono stati prelevati dalle formazioni qui di seguito elencate, in ordine stratigrafico, dall'alto verso il basso, e la loro ubicazione si può osservare in Fig. 1.

- SAB-14: Lava di Pian delle Rose.
- SAB-7 : Tufo giallo di Sacrofano, La Petrina.
- SAB-9 : Tufo giallo di Sacrofano, Mola di Monte Gelato.
- SAB-15: Tufi stratificati varicolori, La Storta.
- SAB-3 : Tufo rosso a scorie nere, Millecuori.
- SAB-8 : Tufo rosso a scorie nere, Mazzano.
- SAB-11: Piperno, Mola di Monte Gelato.
- SAB-4 : Letti lacustri, Millecuori.
- SAB-6 : Tufo giallo della Via Tiberina.

### Risultati sperimentali e discussione

Le concentrazioni dell'uranio e del torio nelle rocce studiate (analizzate « in toto ») sono riportate in Tab. 1. I tenori in uranio sono compresi fra 6 e 31 ppm, e quelli in torio fra 52 e 113 ppm, in accordo con i valori già riscontrati da LOCARDI e SIRCANA (1967), mentre i rapporti elementari Th/U oscillano fra 3 e 9, mostrando una notevole variazione anche nell'ambito della stessa formazione (cfr. Sab. 3 e Sab. 8).

Ben diversa è la situazione nel caso delle singole fasi minerali separate, come si può osservare ispezionando la Tab. 2. In questo caso i tenori di uranio e torio sono compresi fra pochi decimi (o meno) e qualche ppm, con l'eccezione della titanite separata dal Tufo giallo di Sacrofano (Sab. 7), che mostra 1330 ppm Th e 107 ppm U. Sia le concentrazioni elementari che i rapporti Th/U oscillano entro un campo assai vasto, anche nell'ambito dello stesso minerale, ad eccezione della leucite, dove il rapporto Th/U rimane abbastanza stabile, nonostante le notevoli variazioni nel contenuto dei due elementi.

Queste osservazioni sono in accordo con quanto già osservato da LOCARDI (1973) e cioè che la massima parte dell'uranio e del torio contenuta in queste rocce si trova nella massa di fondo vetrosa, talora intensamente zeolitizzata (LENZI e PAS-SAGLIA, 1974). Per meglio controllare questo fenomeno sono state determinate le concentrazioni in uranio e torio in cinque diverse frazioni granulometriche del Tufo giallo della Via Tiberina (Sab. 6), decrescenti da 1 a 0,05 mm. Col decrescere della granulometria i tenori in uranio e torio aumentano fino a raddoppiarsi, passando rispettivamente da 11 a 22 ppm e da 64 a 138 ppm.

TABELLA 1

Concentrazioni elementari di U e Th e rapporti Th/U  
nelle rocce analizzate « in toto »

Campione	Th ppm	U ppm	Th/U
Sab. 14	78 ± 3	19,0 ± 0,6	4,1
Sab. 7	76 ± 2	16,6 ± 0,4	4,6
Sab. 9	97 ± 2	31,3 ± 0,7	3,1
Sab. 15	52 ± 1	6,1 ± 0,2	8,5
Sab. 3	113 ± 4	24,9 ± 0,6	4,6
Sab. 8	106 ± 4	11,8 ± 0,3	9,0
Sab. 11	106 ± 4	21,6 ± 0,4	4,9
Sab. 4	56 ± 2	6,9 ± 0,2	8,1
Sab. 6	64 ± 2	11,4 ± 0,3	5,6

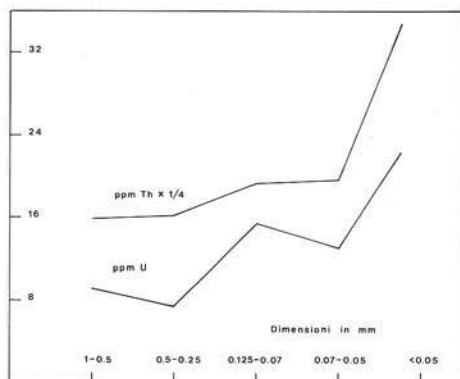


Fig. 2. — Tufo giallo della Via Tiberina (Sab. 6): concentrazioni elementari di U e Th nelle diverse frazioni granulometriche.

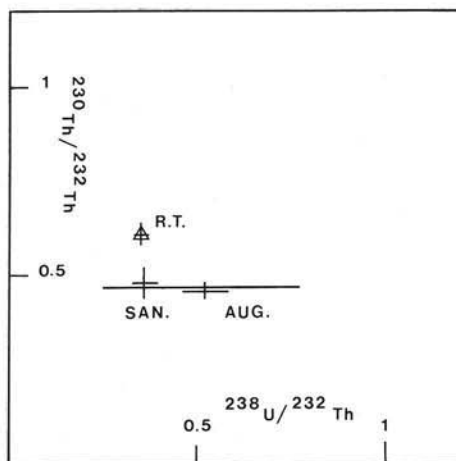


Fig. 3. — Tufo rosso a scorie nere (Sab. 8).

Alcune considerazioni sulla composizione isotopica degli elementi analizzati sembrano a sostegno dell'ipotesi di un elevato grado di mobilitazione dell'uranio all'interno delle formazioni studiate. In Tab. 3 si può notare come il rapporto di attività  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  in quattro diverse frazioni granulometriche del Tufo giallo della Via Tiberina (Sab. 6) decresca da un valore praticamente di equilibrio per la roccia « in toto », fino al valore 0,62 per la frazione di diametro inferiore a 0,05 mm. Ciò

TABELLA 2  
*Concentrazioni elementari di U e Th e rapporti Th/U  
 nei minerali separati dalle rocce*

Minerale	Campione	Th ppm	U ppm	Th/U
Sanidino	Sab. 7	1,6 ± 1	1,0 ± 0,02	1,6
"	Sab. 9	3,8 ± 0,1	1,2 ± 0,03	3,2
"	Sab. 8	10,5 ± 0,6	1,2 ± 0,1	8,7
"	Sab. 11	1,7 ± 0,1	0,3 ± 0,01	5,7
Leucite	Sab. 14	7,8 ± 0,2	1,9 ± 0,03	4,1
"	Sab. 15	2,3 ± 0,1	0,6 ± 0,02	3,8
"	Sab. 3	7,1 ± 0,2	2,0 ± 0,1	3,6
"	Sab. 4	0,16 ± 0,02	0,03 ± 0,002	5,3
Analcime	Sab. 7	2,4 ± 0,2	0,7 ± 0,1	3,4
Augite	Sab. 7	1,8 ± 0,1	0,3 ± 0,01	6,0
"	Sab. 9	9,5 ± 0,3	2,1 ± 0,1	4,5
"	Sab. 8	5,1 ± 0,2	0,9 ± 0,4	5,7
"	Sab. 4	6,5 ± 0,2	0,5 ± 0,02	13,0
"	Sab. 6	9,9 ± 0,4	0,7 ± 0,02	14,1
Egirinaugite	Sab. 15	4,9 ± 0,5	1,5 ± 0,1	3,3
"	Sab. 6	2,4 ± 0,2	0,4 ± 0,02	6,0
Biotite	Sab. 15	1,0 ± 0,1	0,3 ± 0,02	3,3
Titanite	Sab. 7	1330 ± 34	107 ± 3	12,4

può dipendere dalla più intensa azione liscivante operata dai fluidi in circolazione sulle particelle più minute: è infatti noto (TITAEVA et AL., 1973) che nel corso della lisciviazione il  $^{234}\text{U}$  viene asportato con più facilità del  $^{238}\text{U}$  (effetto SZILARD-CHALMER, 1934).

La composizione isotopica dell'uranio e del torio nelle rocce esaminate, e nelle diverse fasi da esse separate, è riportata in Tab. 4. Osservando la colonna relativa al rapporto di attività  $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ , si può notare come molto spesso detto rapporto sia ben lontano dalle condizioni di equilibrio radioattivo, e come siano frequenti i casi in

TABELLA 3

Tufo giallo della Via Tiberina (Sab. 6):  
variazione del rapporto di attività  
 $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  nelle diverse frazioni granu-  
lometriche

Frazioni Sab. 6	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ *
Roccia "in toto"	$1,05 \pm 0,03$
0,5 - 0,25 mm	$0,95 \pm 0,03$
0,07 - 0,05 mm	$0,75 \pm 0,02$
< 0,05 mm	$0,62 \pm 0,01$

\* Rapporti di attività

L'isocrona passante per i punti rappresentativi del sanidino e della augite corrisponderebbe ad una « età zero » della formazione. Data l'incongruità di questa ipotesi (EVERNDEN e CURTIS, 1965), due sono le condizioni che possono essersi verificate: o i due minerali non sono coevi (cosa possibilissima in una roccia piroclastica), o i due sistemi non sono da considerarsi chiusi, a causa della migrazione di uno o di ambedue gli elementi. In ogni caso, il fatto che il punto che rappresenta la roccia

cui, nell'ambito della stessa roccia, le diverse fasi presentino rapporti  $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$  assai diversi fra loro. Se si proiettano i punti relativi alle diverse fasi di una stessa roccia su di un diagramma avente sulle ascisse i valori del rapporto  $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$  e sulle ordinate i valori del rapporto  $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$  (ALLÈGRE e CONDOMINES, 1976) si possono trarre interessanti deduzioni riguardanti i rapporti genetici ed evolutivi dell'uranio e del torio nelle fasi e nelle rocce considerate, anche in relazione all'età delle formazioni. I casi da noi studiati si presentano piuttosto complessi. Riportiamo a titolo di esempio, in Fig. 3, la situazione relativa al Tufo rosso a scorie nere (Sab. 8).

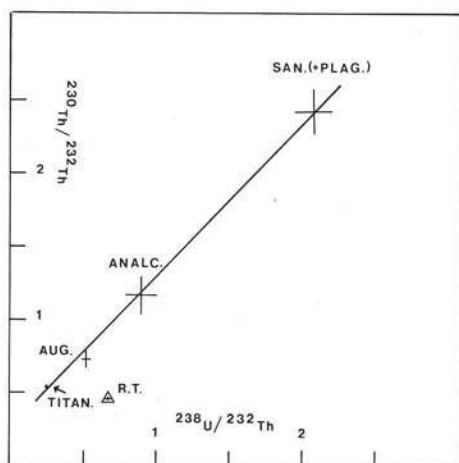


Fig. 4. — Tufo giallo di Sacrofano (Sab. 7): l'isocrona corrisponde ad una età « infinita » (> 300.000 anni).

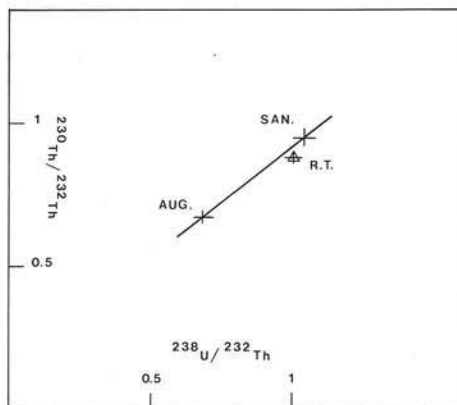


Fig. 5. — Tufo giallo di Sacrofano (Sab. 9): l'isocrona corrisponde ad una età stimabile sui 200.000 ± 100.000 anni.

TABELLA 4

*Composizione isotopica (rapporti di attività) di U e Th nelle rocce analizzate  
« in toto » e nei minerali separati*

	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	$^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$	$^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$
Sab. 14			
Roccia "in toto"	0,74 ± 0,03	0,76 ± 0,03	0,97 ± 0,04
Leucite	0,72 ± 0,03	0,75 ± 0,02	0,96 ± 0,03
Sab. 7			
Roccia "in toto"	0,46 ± 0,01	0,67 ± 0,02	0,68 ± 0,02
Sanidino (+Plagioclasio)	2,43 ± 0,15	2,09 ± 0,12	1,16 ± 0,05
Analcime	1,17 ± 0,13	0,90 ± 0,11	1,30 ± 0,16
Augite	0,73 ± 0,06	0,52 ± 0,03	1,41 ± 0,11
Titanite	0,54 ± 0,01	0,25 ± 0,01	2,17 ± 0,09
Sab. 9			
Roccia "in toto"	0,88 ± 0,02	1,00 ± 0,03	0,87 ± 0,03
Sanidino	0,95 ± 0,03	1,04 ± 0,04	0,92 ± 0,04
Augite	0,67 ± 0,02	0,68 ± 0,02	0,99 ± 0,04
Sab. 15			
Roccia "in toto"	0,45 ± 0,01	0,37 ± 0,01	1,23 ± 0,05
Leucite	0,82 ± 0,04	0,87 ± 0,04	0,94 ± 0,05
Egirinaugite	1,72 ± 0,18	1,02 ± 0,12	1,68 ± 0,17
Biotite	1,05 ± 1,06	0,83 ± 0,06	1,27 ± 0,09
Sab. 3			
Roccia "in toto"	0,80 ± 0,03	1,67 ± 0,06	0,48 ± 0,02
Leucite	0,76 ± 0,03	0,73 ± 0,03	1,04 ± 0,05
Sab. 8			
Roccia "in toto"	0,61 ± 0,03	0,35 ± 0,02	1,74 ± 0,09
Sanidino	0,47 ± 0,03	0,36 ± 0,03	1,23 ± 0,11
Augite	0,46 ± 0,02	0,57 ± 0,06	0,80 ± 0,08
Sab. 11			
Roccia "in toto"	0,59 ± 0,02	0,63 ± 0,02	0,93 ± 0,04
Sanidino	0,67 ± 0,05	0,54 ± 0,04	1,25 ± 0,10
Sab. 4			
Roccia "in toto"	0,35 ± 0,02	0,38 ± 0,02	0,98 ± 0,05
Leucite	0,87 ± 0,13	0,53 ± 0,07	1,62 ± 0,22
Augite	0,45 ± 0,02	0,25 ± 0,01	1,79 ± 0,09
Sab. 6			
Roccia "in toto"	0,69 ± 0,02	0,56 ± 0,02	1,23 ± 0,05
Augite	0,14 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,65 ± 0,06
Egirinaugite	0,40 ± 0,05	0,64 ± 0,05	0,63 ± 0,07

« in toto » non giace sulla isocrona, appare una ulteriore conferma della ipotesi di mobilitazione degli elementi studiati all'interno della formazione.

Il Tufo giallo di Sacrofano (Sab. 7) si presenta sotto un aspetto diverso (v. Fig. 4). Qui i punti che rappresentano i minerali separati sono bene allineati lungo l'isocrona di età infinita (corrispondente in effetti ad una età superiore ai 300.000 anni), in accordo con la data stabilita da ALVAREZ et Al. (1976) per questa formazione:  $370.000 \pm 70.000$  anni. Si rileva però come anche qui il punto corrispondente alla roccia « in toto » giace in posizione ben lontana dalla isocrona, il che si può spiegare con l'acquisto di uranio.

Nell'altro campione del Tufo giallo di Sacrofano (Sab. 9), è stato possibile separare solo due fasi (augite e sanidino), per cui l'isocrona (v. Fig. 5) individuata da due soli punti (per di più affetti da un errore non trascurabile) corrisponde ad una data poco attendibile; questa si può stimare in  $200.000 \pm 100.000$  anni, non quindi in stridente contrasto con quella calcolata per il Sab. 7. A causa delle considerazioni prima esposte, sarebbe azzardato dare un significato alla posizione del punto che rappresenta la roccia « in toto ».

### Conclusioni

Le rocce esaminate mostrano un contenuto di uranio e torio decisamente elevato, sulla cui origine si sono già pronunciati altri Autori (LOCARDI e SIRCANA, 1967), (LOCARDI e MITTEMPERGER, 1971), (LOCARDI, 1973). Questi elementi si trovano essenzialmente nella pasta di fondo vetrosa, più o meno zeolitizzata, mentre il loro contenuto nei minerali separati rientra nei valori medi per questi riportati da ADAMS et Al. (1959). Le variazioni nella composizione isotopica dei due elementi sembrano evidenziare il loro alto grado di mobilità (più verosimilmente soprattutto per l'uranio) ed al tempo stesso rendono ardua ogni considerazione di carattere geocronologico. Solo nel caso del Tufo giallo di Sacrofano è possibile stimare una età «  $^{230}\text{Th}$  » di 200.000-300.000 anni (al limite del metodo), che non è in disaccordo con quella misurata da ALVAREZ et Al. (1976).

*Ringraziamenti.* — Gli Autori desiderano ringraziare vivamente la sig.na LILIANA PUCCI ed il sig. PIERO BASILI per la preziosa opera prestata durante la sperimentazione. Ringraziamo altresì il prof. MARIO FORNASERI, Direttore dell'Istituto di Geochimica dell'Università di Roma, che ha seguito con costante attenzione lo svolgimento del lavoro.

### BIBLIOGRAFIA

- ADAMS J. A. S., OSMOND J. K., ROGER J. J. W. (1959) - *The geochemistry of thorium and uranium* Physics and chemistry of the earth, 3, 298-348.
- ALLÈGRE C. J., CONDOMINES M. (1976) - *Fine chronology of volcanic processes using  $^{238}\text{U}/^{230}\text{Th}$  systematics.* Earth Pl. Sci. Lett., 28, 395-406.



- ALVAREZ W. (1973) - *Ancient course of the Tiber River near Rome. An introduction to the middle pleistocene volcanic stratigraphy of central Italy.* Geol. Soc. of Am. Bull., 84, 749-758.
- ALVAREZ W., NICOLETTI M., PETRUCCIANI C. (1976) - *Potassium-argon ages on pyroclastic rocks from the pleistocene Sabatini volcanic district, north of Rome.* Rend. Soc. Ital. Min. Petr., 32, 1, 147-152.
- BONADONNA F. P., BIGAZZI G. (1969) - *Studi sul pleistocene del Lazio. Età di un livello tufaceo del bacino diatemitico di Riano stabilita col metodo delle tracce di fissione.* Boll. Soc. Geol. It., 88, 439-444.
- EVERNDEN J. F., CURTIS G. H. (1965) - *K-Ar dating of late Cenozoic rocks in east Africa and Italy.* Current Anthropology, 6, 343-364.
- LENZI G., PASSAGLIA E. (1974) - *Fenomeni di zeolitizzazione nelle formazioni vulcaniche della regione sabatina.* Boll. Soc. Geol. It., 13, 623-645.
- LOCARDI E. (1973) - *Mineralizzazioni ad uranio in vulcaniti quaternarie del Lazio.* Boll. Soc. Geol. It., 92, 541-566.
- LOCARDI E., SIRCANA S. (1967) - *Distribuzione dell'uranio e del torio nelle vulcaniti quaternarie alcaline del Lazio settentrionale.* Rend. Soc. Ital. Min. Petr., 23, 163-224.
- LOCARDI E., MITTEMPEGHER M. (1971) - *Exhalative supergenic uranium, thorium and marcasite occurrences in quaternary volcanites of Central Italy.* Bull. Vol., 35, 173-184.
- MATTIAS P. P. (1970) - *Segnalazione di alcuni crateri di esplosione nell'area vulcanica dei Monti Sabatini.* Rend. Soc. It. Min. Petr., 26, 259-277.
- MATTIAS P. P., VENTRIGLIA U. (1970) - *La regione vulcanica dei Monti Sabatini e Cimini.* Mem. Soc. Geol. It., 9, 331-384.
- SCHERILLO A. (1940) - *I tufi litoidi a scorie nere della regione Sabazia e Cimina.* Periodico Mineral., Roma, 11, 301-338.
- SCHERILLO A. (1947) - *I vulcani Sabatini.* Boll. Soc. dei Natural., 55, 125-130.
- SZILARD L., CHALMER T. (1934) - *Chemical separation of the radioactive element from its bombarded isotope in the Fermi effect.* Nature, 134, 462.
- TADDEUCCI A. (1969) - *Uranio e torio nei minerali di alcune piroclastiti dei Colli Albani. Disequilibri isotopici e possibilità di datazioni.* Periodico Mineral., Roma, 38, 463-476.
- TITAEVA N. A., FILONOV V. A., OVČENCOV V. J., VEKSLER T. T., ORLOVA A. V., TYRINA A. S. (1973) - *Comportamento degli isotopi di uranio e torio nel sistema rocce cristalline-acque superficiali, in condizioni di clima freddo-umido (in russo).* Geokimia, 10, 1522-1528.