

ELIO MATTEUCCI *

IPOTESI E PROBLEMI GENETICI **

Premesse

Tra i diversi aspetti che si presentano nello studio dei giacimenti di fluorite sedimentaria del Lazio, quello della genesi riveste indubbiamente un alto interesse scientifico e pratico. L'argomento — peraltro già trattato ampiamente (MATTEUCCI e MIÉ, 1971) — ha suscitato qualche discussione che lo ha reso vieppiù avvincente. La visita sui luoghi non può che riaccendere il dibattito o, quanto meno, destare delle curiosità; pertanto è giustificato l'inserimento della presente trattazione in una guida al sopralluogo.

Scopo di queste pagine è perciò principalmente quello di fornire un quadro, il più sintetico possibile, delle questioni connesse con la genesi di questi giacimenti.

È mia persuasione che i problemi genetici debbano essere affrontati ricercando l'accordo o, quanto meno, un valido compromesso tra tutti i quesiti che si affacciano durante l'osservazione dei fenomeni ed alla luce dei contributi derivabili dalle diverse scienze non solo di carattere geologico. La dichiarazione che un determinato giacimento ha genesi esalativa sedimentaria (es. CLERICI, 1920) e tanto meno la dimostrazione che il minerale non ha origine detritica (es. SPADA, 1969), non sono sufficienti per giustificare la tesi che il minerale è stato messo in posto per via esalativo-sedimentaria. È invece necessario non solo esaminare dettagliatamente il succedersi degli eventi geologici regionali, la geologia del deposito, la sua giacitura, morfologia e composizione mineralogica; non solo occorre conoscere le caratteristiche geochimiche delle rocce e delle acque che abbiano una connessione topografica e fenomenologica col giacimento, ma è indispensabile prendere in dovuta considerazione la possibilità del minerale di essere o meno assoggettato a quei fenomeni chimico-fisici (dissoluzione, complessazione, volatilizzazione, ecc.) che si rendono necessari ai fini del conseguimento del tipo di trasporto e di deposizione che si esamina. Nè può essere trascurata la disamina della entità delle variabili fisiche (per esempio apporto di calore) rese disponibili dalle condizioni geologiche e climatiche relative al momento della formazione del giacimento. Determinanti sono inoltre le condizioni di ambiente chimico-fisico nonchè le dimensioni del giaci-

* Ist. Giacimenti Minerari del Politecnico di Torino.

** La memoria è stata realizzata con il contributo del C.N.R., nell'ambito dei programmi di ricerca del Centro di Studio per i Problemi Minerari presso il Politecnico di Torino.

mento. A proposito di queste ultime rilevo che un meccanismo di genesi idoneo a spiegare la formazione di un piccolo deposito non sempre può essere altrettanto adatto se applicato a quella di un grande giacimento dello stesso minerale e delle stesse caratteristiche geologiche; ed ancora che per dimensione del deposito non si intende qui tanto la riserva utile, quanto, nei limiti in cui sia stimabile, la quantità totale di materiale apportato dal fenomeno mineralizzante.

Con ciò ho voluto motivare il fatto che la trattazione, giustificata dalla ragione sopra menzionata, avrà il carattere di esame delle condizioni che rendono possibili o meno le diverse tesi genetiche affacciate per i giacimenti di fluorite sedimentaria laziali.

Circa la genesi dei giacimenti in oggetto, da parte di diversi Autori, sono state avanzate ipotesi riguardanti singoli depositi. Per quello della Farnesina, CLERICI (1920), facendo riferimento a venute di acque minerali fluorifere e baritifere, ha ammesso che si tratti « di una roccia formata per deposizione chimica nelle acque di un bacino del tutto isolato, o al riparo da sensibile immissione di torbide... ed è implicitamente da escludere che la baritina e la fluorite siano di trasporto. Si formò prima la selenite e poi la fluorite e la baritina cui la calcite, avvolgente e più abbondante, faceva ostacolo alla regolare conformazione dei cristalli ». RUSSO (1932) pone l'accento sulla possibilità che le venute mineralizzanti siano state in fase vapore, pur non escludendo che possa essersi trattato di acque termominerali. BONATTI e GRANDI (1948) alcuni anni dopo, accogliendo sostanzialmente la tesi di Clerici, hanno precisato che il carbonato di calcio, « date le condizioni di temperatura e la presenza di sali di piombo e di stronzio si è deposto sotto forma di aragonite. La sedimentazione dovette essere molto rapida come porta a pensare l'esiguità delle cristallizzazioni formatesi e, pure relativamente molto rapida, la trasformazione in calcite e questo anche in funzione del piccolo volume delle cristallizzazioni ». Ed ancora che la roccia è stata prodotta « dall'incontro di acque giovanili con acque freatiche, rappresentate però in questo caso da un bacino di acque superficiali non inquinate da immissioni di materiale clastico ».

CAVINATO (1968) non concorda con queste vedute e sostiene che la fluorite contenuta nei depositi di « molte altre ⁽¹⁾ località del Lazio, in sedimenti a facies palustre, litorale, deltizia, lacustre, di età miocenica, pliocenica e quaternaria »... « è invece detritica e in quei luoghi dove attualmente si trova vi è stata convogliata dalle acque di scorrimento superficiale ». Da notare che Cavinato si riferisce in particolare a constatazioni da lui fatte alle falde di Monte Mario (Farnesina), lungo il torrente Veza ed a Boccea S. Mario. Ma non è ben chiaro, per chi legga con attenzione, se lo stimato Autore si riferisca, nel sostenere tale genesi, alla fluorite degli stessi banchi fluorito-baritici sedimentari o non piuttosto a quella di livelli sedimentari miocenici, pliocenici o quaternari sottostanti a questi, costituiti da sabbie, argille più o meno sabbiose talora carbonatiche e quarzose, in alcuni dei quali posso

(1) Altre, rispetto a quelle di Monte delle Fare e di Fosso Sassone.

confermare che la fluorite, talora presente, ha caratteri spiccatamente detritici.

Al giacimento che si estende lungo la valle del Fosso di Pianciano, SPADA (1969) attribuisce un'origine « esalativo sedimentaria » senza precisare se il termine « esalativo » si riferisce ad una fase gassosa o ad una fase liquida. Al problema della genesi dei depositi della Farnesina e di Pianciano-Castel Giuliano un notevole contributo sperimentale è stato dato da MASI e TURI (1971) i quali sono giunti per ambedue i giacimenti alla conclusione che i carbonati di questi « si siano formati da un'acqua avente un rapporto O^{18}/O^{16} analogo a quello oggi osservato nelle acque meteoriche locali, ad una temperatura sensibilmente superiore a quella ambiente ». Infine MANFRA, MASI e TURI (1975) — sempre per via sperimentale — hanno fornito un ulteriore apporto di conoscenze mettendo in evidenza che il carbonato del deposito di S. Maria di Sala si sarebbe formato da acque di origine meteorica caratterizzate da una termalità più bassa di quella dalla quale si sono deposti i carbonati dei depositi della Farnesina e di Pianciano-Castel Giuliano, ma che tuttavia anche in questo caso il materiale dei banchi mineralizzati è stato portato a giorno da acque termali di circolazione profonda. Le rocce travertinoidi e le altre litofacies sedimentarie legate ai banchi fluoriferi e contenenti fluorite esse stesse, vengono invece riferite da questi Autori a rimaneggiamenti avvenuti in condizioni chimico-fisiche differenti. Le risultanze delle esperienze permettono inoltre agli Autori di affermare che il carbonato del deposito di Mezzano « si è formato in condizioni in parte diverse da quelle dei corrispondenti materiali del deposito di S. Maria di Sala ».

ZUCCHETTI (1972) rileva che, dall'esame della letteratura, « si evidenzia una certa divergenza di vedute e di interpretazioni sul meccanismo di deposizione di queste fluoriti sedimentarie ». Più specificatamente si può dire che tra i diversi Autori vi è accordo solo su due fatti: che i depositi, da ognuno di loro studiati, hanno forma sedimentaria e che la sedimentazione ha avuto luogo in ambiente lacustre. Questi elementi sono d'altronde assodati per tutti i depositi fluorito-baritici laziali che conosco: lo confermano ad esempio i lavori di MATTEUCCI e MIRÉ (1972), di MASTRANGELO (1972) e di BOTTINO (1975). Ma quando ci si spinge ad esaminare il problema della genesi dei minerali, cioè in quale forma gli elementi costituenti il minerale sono stati trasportati al bacino di deposizione, ci si trova di fronte ad almeno tre tesi: la idrotermale, la detritica e la esalativa in fase gassosa. Noto che a queste è doveroso aggiungere quelle tesi che fanno riferimento al dilavamento superficiale poichè, anche se non mi risulta che siano state espresse in letteratura, vengono ripetutamente avanzate nelle discussioni. MATTEUCCI e MIRÉ (1971) hanno affrontato questo problema con una analisi critica delle varie possibilità in riferimento al deposito di Pianciano-Castel Giuliano. Vorrei ora tentare di estendere quell'analisi al problema generale dei giacimenti fluorito-baritici sedimentari laziali sulla scorta dei dati di cui dispongo, preavvertendo che questi non credo siano ancora sufficienti ad esaurire l'argomento.

Caratteri composizionali del materiale

Un carattere che colpisce lo studioso di questi giacimenti è indubbiamente la monotonia di paragenesi: calcite, fluorite, barite, apatite sempre presenti anche se in tenori diversi da giacimento a giacimento e da facies a facies, talora da punto a punto di una stessa facies, del medesimo deposito. All'analisi chimica si rileva anche la presenza costante di silice talora molto abbondante (Grotte S. Stefano 12-15 %; Cornazzano 12-18 %; S. Maria di Sala talora più del 13 %; Mezzano 5-6 %). A Pianciano-Castel Giuliano si constata una certa uniformità ⁽²⁾ di compo-

TABELLA 1

Campi di variabilità delle composizioni del minerale di S. Maria di Sala.

	fluorite	barite	apatite	carbonati	silice
facies terrosa	37 - 83%	tr - 11%	1 - 5%	3 - 13%	0,5 - 23%
facies sabbiosa	5 - 28%	tr - 4%	1 - 3%	45 - 91%	2 - 34%

sizione anche quantitativa in ognuna delle facies e si evidenzia pure che la frazione fluo-fosfo-baritica nelle diverse facies ha composizione sufficientemente costante (si veda tab. 2). A S. Maria di Sala ⁽³⁾ invece sia la composizione della facies terrosa che di quella sabbiosa, che costituisce la quasi totalità del deposito, sono notevolmente variabili (si veda tab. 1).

Tuttavia la frazione fluo-fosfo-baritica di ognuna delle facies ha composizione altrettanto costante quanto nel deposito di Pianciano-Castel Giuliano come si desume dalla tabella 2.

Per quanto i dati analitici disponibili siano ancora insufficienti, un confronto preliminare è possibile anche tra le frazioni fluo-fosfo-baritiche dei diversi giacimenti: si giungerebbe alla ipotesi di lavoro che queste dimostrano notevole omogeneità nel distretto vulsino, mentre da queste ultime differiscono quelle di Pianciano-Castel Giuliano e di Cornazzano, omogenee tra loro. Al Fosso delle Ferriere

⁽²⁾ Entro qualche unità per cento.

⁽³⁾ Sulla scorta di una serie di analisi i cui risultati sono stati gentilmente forniti dalla Società IPIM titolare della concessione Acquaforse. Le analisi sono state condotte con il metodo Bidtel e si riferiscono a materiali estratti durante una campagna di sondaggi. Con l'occasione esprimo sentiti ringraziamenti alla Società IPIM per la liberalità con la quale ha messo a disposizione queste ed altre preziose notizie.

(BOTTINO, 1975) tale frazione ha composizione più corrispondente a quella dei depositi del distretto vulsino che a quelle del distretto sabatino. Da questo punto di vista la Farnesina sembrerebbe costituire distretto a sè stante.

TABELLA 2

Composizioni delle frazioni fluo-fosfo-baritiche dei diversi depositi ()*

	Cornazzano	Pianciano	S.Maria di Sala	Grotte S.Stefano	Mezzano	Farnesina	Fosso d.Ferriere
CaO	58 - 61	53 - 60	59 - 70	60 - 66	62 - 64	47 - 52	69 - 70
BaO	9 - 12	10 - 16	2 - 11	6 - 10	6 - 8	14 - 15	0,5 - 1
SO ₃	5 - 6	5 - 8	1 - 6	2 - 5	3 - 4	8 - 11	0 - 0,5
P ₂ O ₅	1 - 2	1,5 - 3,0	0,5 - 5	0,3 - 1	0,5 - 1	7 - 13	3 - 4
F	38 - 40	35 - 39	37 - 46	40 - 45	41 - 44	25 - 30	43 - 44

(*) Le composizioni sopra indicate sono desunte dai dati analitici pubblicati da MATTEUCCI e MIE' (1972) per Pianciano Castel Giuliano, da RUSSO (1932) e da BONATTI e GRANDI (1948) per la Farnesina. Per quelle di Fosso delle Ferriere e per quelle di S. Maria di Sala mi sono servito delle analisi comunicatemi a titolo personale rispettivamente dal dott. G.BOTTINO e dalla Società IPIM titolare della concessione Acquaforte, che qui ringrazio. Per Mezzano, Grotte S.Stefano ed in parte per S. Maria di Sala ho utilizzato i valori messi a disposizione dalla dott. R.MIE' che gentilmente ha eseguito alcune analisi su mia richiesta. Per Cornazzano mi sono avvalso di analisi condotte col metodo Bidtel.

La tesi relativa alla genesi detritica

Lo stato di alta dispersione della fluorite è un'altra delle caratteristiche che contribuisce a fare dei depositi qui trattati un gruppo giacimentologico omogeneo. Tale caratteristica della fluorite è stata messa in evidenza con esperienze ed argomentazioni diverse da MATTEUCCI e MIE' (1971) e da RIBACCHI (1972) per il giacimento di Pianciano-Castel Giuliano e da MASTRANGELO (1972) per quello di Grotte S. Stefano. Inoltre i due primi Autori (1972) asseriscono che anche negli altri depositi lo stato di alta dispersione della fluorite si riscontra, sia pure con qualche differenza irrilevante di dettaglio, che può giovare a differenziare i diversi giacimenti, ma che non altera l'omogeneità del quadro.

Analogamente peculiare ed omogeneo è l'aspetto che assumono gli altri componenti mineralogici ed in particolare il carbonato. Questo sia nelle facies terrose che in quelle sabbiose si presenta ovunque in cristallini appiattiti a contorno esagonale, generalmente ben formati, talora forati, ma che sempre ripetono — prescindendo da dettagli che non mi sembrano significativi — i motivi così ben descritti da BONATTI e GRANDI (1948) e che li hanno fatti ascrivere a paramorfosi di calcite su aragonite. Si noti che i cristallini di calcite sono generalmente torbidi per inclusi di fluorite e di apatite.

Ma ritornando alla fluorite — che si presenta, per la maggior parte, in cristallini isolati (od in aggregati ameboidi), le cui dimensioni sono, a seconda dei depositi, minori di 10 o di 5 μm — è bene osservare che in alcuni depositi le classi granulometriche maggiori di 30 μm contengono, avvolti negli aggregati ameboidi, cristallini di abito cubico o cubottaedrico; inoltre alla Farnesina, BONATTI e GRANDI (1948) ne hanno osservati di ottaedrici. Questi cristallini che non hanno l'aspetto di frammenti detritici, ma di solidi di prima formazione, talora in associazione parallela, rappresentano una frazione estremamente piccola della fluorite dei depositi cui si riferiscono.

TABELLA 3

Quantità minime di fluorite e barite deposte nei diversi bacini di sedimentazione.

DEPOSITO	QUANTITA' MINIMA DEPOSTA			RIFERIMENTI UTILIZZATI PER IL CALCOLO (*)
	Fluorite (tonn)	Barite (tonn)	Minerale (tonn)	
PIANCIANO-CASTEL GIULIANO	$5 \cdot 10^6$	$0,85 \cdot 10^6$	$10 - 15 \cdot 10^6$	MATTEUCCI e MIE' (1971)
FARNESINA	$0,9 \cdot 10^6$	$0,35 \cdot 10^6$	$8 - 10 \cdot 10^6$	RUSSO (1932) - BONATTI e GRANDI (1948)
S.MARIA DI SALA	$5,5 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$	$40 - 50 \cdot 10^6$	Sondaggi effettuati dalla Società concessionaria
GROTTE S.STEFANO	$0,13 \cdot 10^6$	$0,01 \cdot 10^6$	$0,4 \cdot 10^6$	MASTRANGELO (1972)

(*) Per tutti i giacimenti si è ammesso che il peso secco di unità di volume sia di 0,8 t/m³ per la facies terrosa e di 1,3 t/m³ per la facies sabbiosa accettando i valori minimi di campioni indisturbati pubblicati da RIBACCHI (1973).

Assumendo che il carattere genetico della fluorite debba essere riferito a quella frazione che ne rappresenta la massima parte, e cioè alla frazione in stato di alta dispersione, si deve escludere per tutti i depositi in parola che l'origine possa essere detritica.

Altri argomenti che contribuiscono ad escludere tale origine sono stati elencati per il giacimento di Pianciano-Castel Giuliano da SPADA (1969) e da MATTEUCCI e MIE' (1971). Non dispongo ancora dei dati relativi alla composizione delle singole frazioni granulometriche relative agli altri depositi, ma già con l'osservazione ottica ho constatato che la distribuzione delle dimensioni dei granuli di barite e fluorite non corrisponde in nessun deposito a quella che si sarebbe prodotta per l'equivalenza idrogravimetrica conseguente al trasporto dei granuli.

Quanto alle dimensioni dei depositi, queste hanno potuto essere calcolate almeno per la maggior parte di essi e sono indicate nella tabella 3. Quelle di Cornazzano

non hanno potuto essere determinate perchè la scarsità degli affioramenti non permette di definire i limiti del bacino. Anche a Grotte S. Stefano non è stato possibile fare ipotesi sull'estensione del bacino, poichè mancano elementi per definirne i limiti a sud del Vezza; la valutazione in quest'ultimo deposito è basata sul solo minerale in vista e su quello presumibile in relazione agli affioramenti, ma il minerale deposto è stato certamente di gran lunga in quantità maggiore, forse dell'ordine di 1-2 milioni di tonnellate.

Ma pur considerando solo i grossi depositi, appare evidente che quantità così ingenti di minerale non possono essere state trasportate da giaciture primarie più o meno lontane e concentrate in un'area relativamente ristretta. Ed ancora bisogna rimarcare che: 1) o si ipotizza che la giacitura primaria sia stata costituita da calcari fluoritiferi, baritiferi e contenenti apatite e che tutti i componenti del deposito siano detritici; ma in questo caso i granuli di calcite non avrebbero l'aspetto descritto più sopra ed il deposito sarebbe molto più inquinato da materiali estranei di quanto non lo sia; 2) oppure si ammette che le sole fluorite, barite ed apatite siano detritiche e derivino dalla degradazione dei tufi; ma allora — pur prescindendo dal meccanismo di arricchimento del detritico, che non potrebbe essere stato di tipo gravitativo — sarebbe difficile indicare un meccanismo che spieghi come il detritico abbia potuto deporsi puro insieme alla calcite senza dar luogo a grosse eterogeneità di composizione da punto a punto. E non si dimentichi inoltre che i cristallini di calcite sono zeppi di inclusi di fluorite.

Comunque fossero andate le cose poi non si può dimenticare che le frazioni fluo-fosfo-baritiche hanno composizione omogenea in ogni giacimento. Ora se pur è vero che, su di una grande estensione di rocce degradate, si può ammettere che statisticamente siano asportate quantità dei tre minerali che, nel tempo, sono in rapporti costanti, non si può invece concedere che il loro ruscellamento, caratterizzato da una notevole variabilità di regime, nel tempo, permetta di mantenere costanti tali rapporti durante il trasporto.

Concludo che per tutte le ragioni sopra elencate già si può escludere che i depositi fluorito-baritici sedimentari laziali, dei quali ci stiamo occupando, abbiano avuto origine detritica.

Tesi connesse con il dilavamento superficiale

Sotto questo titolo raccolgo la discussione di quelle tesi che, a proprio presupposto, ammettono che fluoro, bario e fosforo siano stati dilavati dalle rocce circostanti il bacino di sedimentazione. A seconda che la rideposizione abbia poi avuto luogo nel bacino di raccolta, per evaporazione dell'acqua o per reazione tra soluzioni, esse tesi conducono ad assegnare il giacimento al tipo evaporitico od al tipo sedimentario per precipitazione da acque di scorrimento.

Vi sono problemi relativi al dilavamento degli elementi citati. Le ricerche

di TADDEUCCI (1964) hanno accertato sperimentalmente che, nelle regioni vulcaniche dei Colli Albani, del Cimino e di Vico, i tenori in fluoro delle rocce effusive sono dell'ordine di 1000-2000 ppm e che, a titolo orientativo, si possono considerare compresi entro gli stessi valori i tenori in fluoro di alcuni dei più caratteristici prodotti effusivi della provincia mediterranea. È quindi lecito ammettere — come ipotesi di lavoro — che le rocce effusive delle regioni sabazia e vulsina — per le quali non esistono determinazioni analoghe — abbiano tenori in fluoro dello stesso ordine di quelle delle altre regioni vulcaniche laziali. Per bario, solfo e fosforo, MATTEUCCI e MÍE (1971), raccogliendo i dati della letteratura, hanno calcolato in prima approssimazione, le medie dei tenori nelle rocce effusive delle regioni vulcaniche laziali ed hanno riscontrato che esse per il bario — con 600-1300 ppm — superano le medie crostali, mentre per l'anidride fosforica — con 1700-3400 ppm — e solforica — con 500-800 ppm — sono nettamente inferiori alle medie crostali della regione italiana.

Si può ammettere dunque che, per effetto dell'alterazione superficiale, queste rocce possano aver liberato quantità di fluoro, di bario e di solfo corrispondenti a quelle indicate in tabella 3, nonché sufficienti quantità di fosforo. Un primo problema si pone però in relazione alla forma assunta durante il trasporto. Poiché nelle rocce in parola — che sono rocce di stirpe mediterranea — gran parte del fluoro è disperso nelle parti vetrose (TADDEUCCI, 1964), e come tale ha pertanto tendenza a passare facilmente in soluzione, si può pensare in prima istanza che vi passi come fluoruro alcalino in concentrazioni discrete (ordine di grandezza 0,1 grammi per litro ⁽⁴⁾). Si potrebbe ipotizzare che sotto tale forma giunga al bacino lacustre le cui acque siano ricche di calcio — ovvero in cui sia già deposto un banco di calcite sabbiosa — e quivi reagisca dando luogo alla fluorite in forma altamente dispersa. Calcite granulare in sospensione acquosa, da me trattata con fluoruro sodico, ha dato luogo a cristalliti di fluorite aventi al microscopio l'aspetto di quelli dei depositi fluorito-baritici. Il bario potrebbe seguire il fluoro allo stato di carbonato disciolto (solubilità $2 \cdot 10^{-2}$ g/l a 20° C). Per ammettere però che fluoro e bario abbiano migrato allo stato di ioni trasportati da acque che li contenevano a concentrazioni superiori a quelle corrispondenti alle solubilità della fluorite e della barite, sia pure in presenza di sali alcalini solubili, bisogna ipotizzare che queste acque siano state prive di ioni calcio e di ioni solfato, il che, per acque di scorrimento, è evidentemente improponibile. Considero pertanto che i depositi qui trattati non possano essere ascritti al tipo sedimentario per precipitazione da acque di scorrimento.

Supposto quindi che fluoro e bario si liberino dai minerali e più facilmente dai vetri, che li contengono nelle rocce, allo stato di ioni, la vita di questi è breve poiché rapidamente si legano rispettivamente agli ioni calcio e solfato, dando

(4) Le solubilità in acqua fredda del fluoruro sodico e del fluoruro potassico sono rispettivamente dell'ordine di 40 g/l e di 900 g/l.

luogo a composti la cui solubilità è estremamente bassa. Le concentrazioni dei due elementi nelle acque superficiali sono pertanto vincolate dai prodotti di solubilità del fluoruro di calcio e del solfato di bario, ed è anche improbabile che tali acque raggiungano la saturazione rispetto a questi composti. Dunque le concentrazioni delle acque circolanti in superficie non possono essere state che inferiori alle 25 ppm CaF_2 ed alle 15 ppm BaSO_4 ammessa una temperatura delle acque di 30°C ed una concentrazione in sali alcalini di 0,1 moli per litro. DALL'AGLIO e GIANNOTTI (1967) e DALL'AGLIO e TEDESCO (1968) hanno riscontrate le concentrazioni, che risultano dalla tabella 4, nelle acque attuali di scorrimento superficiale delle regioni cimina e sabazia e nelle acque delle sorgenti fredde della regione cimina.

TABELLA 4

Concentrazioni di F^- , Ba^{2+} , SO_4^{2-} , P_2O_5 , Ca^{2+} (in ppm) in acque di scorrimento superficiale e di sorgenti fredde nelle regioni vulcaniche cimina e sabazia.

Acque di scorrimento	REGIONE		F^-	Ba^{2+}	SO_4^{2-}	P_2O_5	Ca^{2+}
	cimina	(c.media)	0,72	-	31	0,28	40
(c.massima)		2,09	-	322	1,56	184	
sabazia (zona Casaccia)		(c.media)	1,64	0,26	24	0,08	68
		(c.massima)	3,99	0,35	120	2,13	216
Sorgenti	cimina	(c.media)	0,31	-	9	0,11	13
		(c.massima)	0,99	-	28	0,33	238

Pur considerando gli effetti positivi che potrebbe aver avuto l'azione attivante di climi più caldi dell'attuale (relativi a periodi interglaciali) e la freschezza delle rocce, non si può ammettere che le acque di scorrimento abbiano portato in soluzione concentrazioni maggiori di quelle indicate sopra. Pertanto, per portare ai bacini di sedimentazione quantità di barite e di fluorite dell'ordine di quelle indicate in tabella 3, sarebbero occorsi per ognuno dei depositi 10^{11} - 10^{12} m^3 di soluzione, la cui acqua richiede per l'evaporazione 10^{17} - 10^{18} kcal, cioè una quantità di calore pari a quella che, secondo la valutazione fatta da MATTEUCCI e MIÉ (1971),

l'energia solare sarebbe stata in grado di fornire in un periodo dell'ordine di $10^4 - 10^5$ anni. Ritengo pertanto che anche questo meccanismo sia altamente improbabile e che quindi, per i giacimenti fluorito-baritici sedimentari laziali, non possa essere invocata una genesi evaporitica.

Concludendo stimo che il meccanismo evaporitico e quello sedimentario per precipitazione siano inadeguati a spiegare la genesi dei giacimenti qui studiati, almeno per quanto si attiene ai più grandi depositi. Tuttavia quanto scritto sopra non esclude che il dilavamento superficiale abbia potuto essere alla base di meccanismi genetici i quali prendano in considerazione il trasporto della fluorite allo stato di soluzione colloidale o del fluoro allo stato di ione complesso (con l'alluminio). In ambedue i casi ritengo però che si incontrerebbero gravi difficoltà a spiegare quale sia il processo di arricchimento del fluoro rispetto all'alluminio e, nel primo caso, anche rispetto alla silice.

Tesi relative a genesi endogene

Non minori difficoltà presenta la discussione di meccanismi relativi a genesi endogene. MATTEUCCI e MIÉ (1971), attraverso l'esame del comportamento di alcuni composti del fluoro in convogli sia gassosi che liquidi, hanno escluso, per il deposito di Pianciano-Castel Giuliano, che l'apporto abbia avuto luogo in fase gassosa ed hanno ipotizzato che il trasporto si sia realizzato ad opera di un convoglio costituito da una soluzione colloidale di fluoruro di calcio e contenente tutti i componenti fondamentali ed accessori necessari alla formazione del deposito salvo lo ione solforico, che si sarebbe prodotto a giorno per ossidazione dell'acido solfidrico. Le basi di queste ipotesi sono:

- 1) la facilità con la quale si possono ottenere, con meccanismi semplici, soluzioni colloidali di fluoruro di calcio con elevati tenori; da cui discende l'alta probabilità che tali soluzioni si possano realizzare in natura;
- 2) la leggerezza del fluoruro di calcio ad alta dispersione; per effetto di tale leggerezza il composto rimane sospeso in acqua quando non sia perfettamente tranquillo; il trasporto avviene quindi agevolmente;
- 3) la nota solubilità dei bicarbonati di calcio e di bario nelle condizioni dell'idrotermalismo;
- 4) la solubilità relativamente buona del fosfato di calcio in acque ricche di anidride carbonica;
- 5) la conosciuta azione della pressione sulla solubilità, in acqua, di anidride carbonica ed idrogeno solforato.

Gli Autori completano l'ipotesi con indicazioni relative alla dinamica della deposizione delle quattro facies.

Prima di passare ad esaminare la possibilità di altri meccanismi per altri depositi, ritengo opportuno trattenerne il lettore — sia pure in modo schematico — su

tali indicazioni poichè il deposito di Pianciano-Castel Giuliano rappresenta, a mio avviso, un caso di meccanismo genetico interessante anche per altri depositi.

Attraverso un campo di fratture ⁽⁵⁾ sul fondo di un bacino lacustre, il convoglio, ad elevata termalità, dovrebbe essere venuto a giorno in modo alquanto turbolento per effetto della pressione. Il conseguente svolgimento di anidride carbonica avrebbe favorito la rapida cristallizzazione del carbonato, sotto forma di aragonite ed avrebbe mantenuto dispersa — ed eventualmente avrebbe diffuso — la frazione fluo-fosfo-baritica. Ciò spiegherebbe gli inclusi di fluorite e di apatite nei cristalli di carbonato. Ad un tempo successivo deve essere riferita la trasformazione dell'aragonite — ora rappresentata dal nucleo delle piastrine a contorno esagonale — in calcite, con dissoluzione, parziale o totale, del nucleo aragonitico. La sabbia carbonatica si è deposta, con modalità ed in tempi diversi, nelle diverse zone del bacino, trascinando nella sedimentazione parte della frazione fluo-fosfo-baritica e dando così luogo alla facies sabbiosa. La deposizione deve essere iniziata nelle zone discoste dal campo — o dai campi — di fratture, producendo un banco dalla superficie regolare, mentre in corrispondenza delle fratture il continuo afflusso del convoglio deve aver fatto in modo che i granuli venissero respinti per andare a ricadere più probabilmente ai bordi delle singole fratture. Si spiegherebbe così la superficie irregolare, a domi, della facies sabbiosa nella zona della «cava». Nel complesso, dunque, nel periodo di turbolenza — più o meno violenta a secondo delle zone — sul fondo del bacino si sarebbe deposto uno strato di facies sabbiosa a superficie regolare in alcuni punti ed irregolare in altri, mentre la frazione fluo-fosfo-baritica rimaneva per la massima parte in sospensione. Cessata la turbolenza, quest'ultima iniziava a deporsi distendendosi e modellandosi sopra alla facies sabbiosa e dando quindi luogo alle diverse facies terrose in conseguenza degli apporti argillosi e terrigeni delle acque di scorrimento o dell'assenza di questi.

Vi sono, nel giacimento di Pianciano-Castel Giuliano, fenomenologie che non si ripetono in nessuno degli altri depositi che mi sono noti: struttura a domi, presenza diffusa delle quattro facies sovrapposte, scarsi tenori di silice nelle facies terrose bianca e grigia e nella facies sabbiosa. Non è detto pertanto che il meccanismo genetico atto a spiegare le fenomenologie caratteristiche di Pianciano-Castel Giuliano debba ripetersi negli altri depositi, in cui queste caratteristiche mancano, o comunque è eventualmente necessario ritrovare la ragione della loro mancanza.

Per i giacimenti di S. Maria di Sala, di Grotte S. Stefano, di Cornazzano, particolare interesse rivestono gli elevati tenori di silice presenti. Parte di questa è legata ad idrosilicati, ma mi è stato possibile calcolare ⁽⁶⁾ che, in molti campioni, gran parte della silice è libera. All'osservazione microscopica, tale parte si rivela come silice opalina con inclusi cristalliti di fluorite. Ciò indica che prima e fino al

⁽⁵⁾ Recentemente Cozzupoli, Federico e Fornaseri (1975) hanno osservato una manifestazione calcitico-apatitico-fluoritica in giacitura filoniana nel cono di scorie di M.te Ficoreto, sul versante N.W. della caldera di Sacrofano, di cui verrà quanto prima data notizia.

⁽⁶⁾ Secondo criteri analoghi a quelli seguiti da MATTEUCCI e MIÉ (1971).

momento della formazione dei minerali, silicio e fluoro debbono essere stati intimamente interimplicati, ad esempio a costituire tetrafluoruro di silicio o soluzioni colloidali miste.

Si deve però osservare che, mentre, come scritto più sopra, la frazione fluo-fosforatica conserva composizione relativamente costante in ognuno dei tre giacimenti, i tenori in silice variano ampiamente da punto a punto nel deposito di S. Maria di Sala, come risulta dalle analisi. Per i depositi di Grotte S. Stefano e di Cornazzano non dispongo di un sufficiente numero di analisi chimiche complete per potere giudicare l'andamento dei tenori, ma l'osservazione microscopica di numerosi campioni rivela una certa uniformità di distribuzione della silice opalina.

Ricordo che il primo dei tre depositi in parola è costituito essenzialmente dalla facies sabbiosa, mentre gli altri due esclusivamente da una facies assimilabile alla terrosa bianca di Pianciano-Castel Giuliano. Per Grotte S. Stefano e per Cornazzano pertanto, poichè il banco carbonatico manca, non si può escludere che venute di convogli gassosi, costituiti essenzialmente da vapor d'acqua, acido fluoridrico e tetrafluoruro di silicio, eventualmente accompagnati da idrogeno solforato, possano essere sgorgati in un bacino lacustre ed ivi abbiano dato luogo sia alla fluorite altamente dispersa che al gelo di silice; questi, nell'acqua del lago gorgogliante, avrebbero potuto subire una omogeneizzazione in grande.

Il meccanismo genetico sopra indicato trova un supporto oggettivo nelle analisi di cui sono finora in possesso. Esse hanno permesso infatti di calcolare che la silice libera, presente nei campioni esaminati dei due depositi, indica che almeno il 25-30 % del fluoro può essere stato sotto forma di tetrafluoruro di silicio.

Le dimensioni di questi due depositi sono abbastanza modeste e le loro potenze sono comprese, stando agli affioramenti, tra 0,50 e 1,5 metri. Ammettendo, per le venute gassose, tenori in fluoro dell'ordine di quelli medi delle emanazioni (0,22 g HF/l pari a 429 g CaF_2/m^3 come ammesso da MATTEUCCI e MIÉ, 1971), il minerale presumibile sulla scorta degli affioramenti, a Grotte S. Stefano, avrebbe richiesto un contemporaneo apporto di acqua ammontante a circa $3 \cdot 10^8 \text{ m}^3$. Poichè i gas vulcanici contenenti fluoro sono caratterizzati da temperature elevate e comunque superiori ai 200° C (fumarole caldissime RITTMANN, 1967), le quantità di calore apportato al lago sarebbero state sufficienti a permettere l'evaporazione continua delle acque del bacino oltre che di quelle dovute ai gas vulcanici. L'accumulo dunque sarebbe stato progressivo e le quantità accumulate dipendenti solo dalla durata dell'evento mineralizzante.

Il meccanismo genetico così brevemente abbozzato aiuta anche a spiegare le piccole potenze dei depositi di Grotte S. Stefano e di Cornazzano — ed in genere dei depositi del tipo Pian Aùta — nonchè quindi le loro piccole riserve di fluorite di fronte a quelle enormemente più grandi dei giacimenti del tipo Pianciano-Castel Giuliano.

Maggiori difficoltà si presentano a spiegare la presenza della barite e della apatite.

Che la silice poi provenga, ai due giacimenti, da depositi di diatomite è improbabile anche se in quelle località hanno notoriamente sede estesi bacini diatomiferi. Ciò richiederebbe la successione di almeno tre eventi principali interdipendenti: 1) una venuta gassosa di acido fluoridrico avrebbe dovuto disciogliere la diatomite; 2) dando luogo alla formazione di acido fluo-silicico; 3) per decomposizione di questo, in presenza di sali di calcio, si sarebbero prodotte fluorite e silice colloidale. Già l'elevato numero di condizioni necessarie alla realizzazione del meccanismo lo rende poco probabile, ma la mancanza di una diffusa presenza di residui individuali di diatomee convince della sua inaccettabilità.

A proposito della genesi del deposito di Pianciano-Castel Giuliano, riconoscendo troppo bassi i rapporti quantitativi tra silice libera e fluoro, MATTEUCCI e MIÉ (1971) sono giunti alla conclusione che: « non esiste alcun elemento di giudizio che permetta di ammettere che l'eventuale convoglio gassoso sia stato essenzialmente costituito di tetrafluoruro di silicio ». In merito, per il deposito di S. Maria di Sala, ulteriori considerazioni sono necessarie. Per alcuni dei campioni analizzati (col metodo Bidtel) si calcola, sulla base della silice libera presente, che il fluoro legato ipoteticamente al silicio rappresenta più del 50 % del fluoro totale; per molti altri questo parametro ha valori compresi tra il 10 ed il 50 %; per altri ancora valori inferiori. Non si possono, per il momento, trarre tutte le possibili conseguenze da questa caratteristica del deposito; per farlo è necessario disporre delle composizioni complete di molti campioni ben localizzati, in modo da poter conoscere la distribuzione dei tenori di silice libera nelle due serie di banchi. Ma già la variabilità del parametro è indice, quanto meno, di una limitata circolazione dei fluidi mineralizzanti, tale da impedire loro una qualsiasi omogeneizzazione. La diffusione del convoglio gassoso, attraverso gli spazi liberi di un banco sabbioso di carbonati, sommerso, vi concorderebbe. Non vi troverebbero tuttavia spiegazione le inclusioni di fluorite nei cristallini di calcite. Ma ciò che rende poco probabile un meccanismo di mineralizzazione in due tempi distinti, a S. Maria di Sala, è la ripetizione dei banchi. Come è ben messo in evidenza nel precedente capitolo, la mineralizzazione è distribuita in due serie di banchi separate da rocce vulcaniche; ogni serie è costituita di più banchi talora contigui, tal altra separati essi pure dalle stesse rocce. Ciò presupporrebbe che per almeno quattro o cinque volte si sia ripetuta la serie degli eventi mineralizzanti indipendenti e sempre nello stesso ordine: 1) deposizione del banco sabbioso carbonatico da acque dotate di discreta termalità (MANFRA, MASI e TURI, 1975); 2) seguita da venute di convogli gassosi a vapor d'acqua, tetrafluoruro di silicio ed acido fluoridrico.

MANFRA, MASI e TURI (1975) hanno tracciato un pregevole schema di genesi, che qui riprendo in parte, apportandovi alcune modifiche che ritengo sostanziali per una migliore definizione. La formazione del bacino lacustre che ha accolto, tra le altre sedimentazioni (tufti, marne, argille, sabbie fossilifere; NAPPI, 1969) anche quella del minerale fluorifero, viene fatta risalire allo sprofondamento della parte centrale del vulcano di Latera. Tale sprofondamento non è però frutto di un

evento isolato, ma il risultato di una serie di collassamenti. Non è detto che ad ogni collassamento faccia riscontro un evento mineralizzante, ma è inversamente ipotizzabile che ad ognuno dei banchi — o serie di banchi contigui — corrisponda un collassamento. Evidentemente le fratture vengono ringiovanite a seguito dei collassamenti e le soluzioni possono essere spinte a risalire: quando si verificano anche le altre condizioni, ha luogo la formazione di un banco.

Le grandi fratture che hanno raggiunto il substrato calcareo della zona (ALBERTI et al., 1970; LOCARDI, 1973) hanno favorito non solo la venuta delle acque mineralizzanti, ma anche la circolazione profonda dei fluidi magmatici mineralizzanti con conseguente possibilità di reazione tra calcari e gas acidi e produzione di soluzioni colloidali di fluoruro di calcio e di silice contenenti anidride carbonica sotto discrete pressioni parziali, acido solfidrico, bicarbonati di calcio e di bario e fosfati di calcio. Insomma, soluzioni analoghe a quelle cui MATTEUCCI e MIÉ (1971) attribuiscono la responsabilità della mineralizzazione di Pianciano-Castel Giuliano, che però da quelle si differenziano per l'elevato tenore in silice. Le soluzioni colloidali di quest'ultima, in ambiente acido o neutro, sono instabili (salvo per le piccolissime concentrazioni), di modo che, venute a giorno, si può ammettere che il gel di silice, coagulato, si sia separato dalle acque più rapidamente e discontinuamente della fluorite; la soluzione colloidale di questa è invece stabilizzata dal sol di silice residuo. Da ciò la variabilità già segnalata di tenore in silice da punto a punto del giacimento.

La mancanza di importanti discontinuità di potenza, del tipo di quelle di Pianciano-Castel Giuliano, dovrebbe indicare che i convogli, pervenendo al bacino attraverso grosse fratture anziché attraverso un campo di piccole fratture, vi sono giunti senza turbolenza. In qualche punto del giacimento si notano accumuli più potenti della media: ciò si spiega più probabilmente con la vicinanza alla zona della frattura, che non con l'ammissione di depressioni più marcate del fondo del bacino, poichè queste non concorderebbero col fatto che la normale sedimentazione, che ha preceduto quella dei minerali utili, ha necessariamente spianato il fondo.

Mi sembra ancora opportuno soffermare l'attenzione su una delle caratteristiche differenziali del deposito di S. Maria di Sala rispetto a quello di Pianciano-Castel Giuliano. Nel primo, infatti, le facies terrose sono pressochè assenti e, là dove esistono, o hanno esigua potenza e sono frammentarie, o non sempre sono distese sopra alla facies sabbiosa ed a contatto di essa, come invece avviene caratteristicamente nel secondo giacimento. In proposito è opportuno ricordare che in tutti gli affioramenti di S. Maria di Sala si riscontra una certa pendenza verso il centro del bacino, maggiore negli affioramenti settentrionali e nord-occidentali, più debole o assente in quelli meridionali; pendenza che si può far risalire al progressivo sprofondamento del fondo del bacino lacustre. In queste condizioni ha fondamento supporre che, dopo la rapida deposizione della facies sabbiosa, il banco si sia inclinato verso il centro del bacino facendo defluire le acque in cui era dispersa la frazione fluo-fosfo-baritica che doveva dar luogo localmente alla facies terrosa. Il meccanismo

sarebbe testimoniato sia dai brandelli di facies terrosa sopraggiacenti qua e là ai banchi sabbiosi, sia da alcuni fenomeni di «slumping» riscontrabili negli affioramenti orientali. Nelle parti centrali del bacino ci si dovrebbe allora attendere di riscontrare cospicue manifestazioni della facies terrosa laddove questa non sia stata erosa. È accertato ad ogni modo che tale facies è presente dove il giacimento è ora coltivato, cioè in quella parte meridionale del deposito che è pianeggiante. D'altronde, sia detto per inciso, non è chiaro il rapporto tra i banchi di facies sabbiosa ed il banco, più elevato in quota, che è costituito dalla sola facies terrosa.

Per spiegare l'assenza o la scarsità di facies terrose sovrastanti alla facies sabbiosa, mi sembra che si debba anche ammettere che i convogli, che hanno dato luogo a quest'ultima, siano stati poco ricchi di fluorite, di modo che questa possa essere stata quasi tutta trascinata dai precipitanti carbonati.

I sondaggi in corso di esecuzione porteranno certamente ad una conoscenza del giacimento maggiormente dettagliata, che è indispensabile al fine di superare i dubbi relativi al meccanismo genetico.



Veduta di un particolare della coltivazione a cielo aperto del giacimento di Pianciano-Castel Giuliano.

BIBLIOGRAFIA

- ALBERTI A., BERTINI M., DEL BONO G. L., NAPPI G., SALVATI L. (1970) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia 1:100.000, Foglio 136 Tuscania e Foglio 142 Civitavecchia*, Serv. Geol. It., Roma.
- AMBROSETTI P., BONADONNA F. P., TOLOMEI L. (1969) - *Studi sul Pleistocene del Lazio VI. Una nuova data per la Campagna Romana*, Boll. Soc. Geol. It., 88, 3.
- BERTINI M., D'AMICO C., DERIU M., GIROTTI O., TAGLIAVINI S., VERNIA L. (1971 a) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia 1:100.000, Foglio 137 Viterbo*, Serv. Geol. It., Roma.
- BERTINI A., D'AMICO C., DERIU M., TAGLIAVINI S., VERNIA L. (1971 b) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia 1:100.000, Foglio 143 Bracciano*, Serv. Geol. It., Roma.
- BIGAZZI G., BONADONNA F. P., IACCARINO S. (1973) - *Geochronological Hypothesis on Plio-Pleistocene Boundary in Latium Region (Italy)*, Boll. Soc. Geol. It., 92, 391.
- BONADONNA F. P. (1954) - *Studi sul Pleistocene del Lazio II. Il bacino diatomitico di Cornazzano (Bracciano, Roma)*, Geol. Rom., 3, 383.
- BONADONNA F. P. (1966) - *Nuovi metodi di studio dei giacimenti varvati della campagna Romana e primi risultati. Confronti con le varve scandinave*, Boll. Soc. Geol. It., 85, (1), 21.
- BONADONNA F. P. (1968) - *Studi sul Pleistocene del Lazio V. La biostratigrafia di Monte Mario e la « fauna malacologica mariana » di Cerulli Irelli*, Mem. Soc. Geol. It., 7, 261.
- BONADONNA F. P., BIGAZZI G. (1969) - *Studi sul Pleistocene del Lazio VII. Età di un livello tufaceo del bacino diatomifero di Riano stabilito col metodo delle tracce di fissione*, Boll. Soc. Geol. It., 88, 439.
- BONATTI S., GRANDI L. (1948) - *Sedimentazione aragonitica con baritina e fluorina alla Farnesina presso Roma*, Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., A, 55, 261, Pisa.
- BOTTINO G. (1975) - *Comunicazione personale*.
- BRUSCA C. (1972) - *Intervento*, Atti Giorn. Studio su « Le fluorite Italiane », vol. I, 74, Torino.
- BURRI C. (1961) - *Le provincie petrografiche postmesozoiche dell'Italia*, Rend. Soc. Min. It., 17, 3.
- CAMPONESCHI B. (1970) - *Sul rinvenimento di alcuni reperti fossili nelle vulcaniti del Fosso delle Ferriere (Cerveteri)*, Rend. Soc. It. Min. Petr., 26, 43.
- CAVINATO A. (1968) - *La fluorite nel Lazio*, L'Ind. Min., 19, 1.
- CLERICI E. (1920) - *Nuova giacitura di minerali presso Roma*, Rend. R. Acc. Naz. Lincei, (5), 29, 318.
- COZZUPOLI D., FEDERICO M., FORNASERI M. (1975) - *Comunicazione personale*.
- DALL'AGLIO M., GIANNOTTI G. P. (1967) - *Distribution and Circulation of Barium, Rubidium, Strontium and Caesium in Natural Waters Around the Casaccia Nuclear Centre, Disposal of radioactive wastes into the ground IAEA, Vienna, 343.*
- DALL'AGLIO M., TEDESCO C. (1968) - *Rilievo idrogeologico dell'area dei monti Cimini, C.N.E.N. RT Geo (68), 9, Roma.*
- DISCENDENTI A., NICOLETTI M., TADDEUCCI A. (1970) - *Datazione K-Ar e ²³⁰Th di alcuni prodotti del vulcano di Latera*, Per. Min., 39, 461.
- EVERNDEN J. F., SAVAGE D. E., CURTIS G. H., JAMES G. T. (1964) - *Potassium Argon dates and the Cenozoic mammalian chronology of North America*, Amer. Jour. Sci., 262, (2), 145.
- EVERNDEN J. F., CURTIS G. H. (1965) - *The Potassium-Argon dating of late Cenozoic rocks in East Africa and Italy*, Current Anthropol., 6, 343.
- FOLLIERI M. (1960) - *Correlazione paleobotanica fra i due bacini diatomiferi della valle dell'Inferno e di valle Pianaperina presso Riano (Roma)*, Ann. Bot., 26, (3), 1.
- LOCARDI E. (1973) - *Mineralizzazioni ad Uranio in vulcaniti quaternarie del Lazio*, Boll. Soc. Geol. It., 92, 541.

- LOCARDI E., MOLIN D. (1974) - *Tettonica, Vulcanismo e bacini uraniferi nel Lazio*, Comun. al 67° Congr. Soc. Geol. It. (in corso di stampa).
- LOCARDI E., SIRICANA S. (1967) - *Distribuzione dell'uranio e del torio nelle vulcaniti quaternarie alcaline del Lazio Settentrionale*, Rend. Soc. Min. It., 23, 163.
- MANFRA L., MASI U., TURI B. (1975), *Rapporti O^{18}/O^{16} e C^{13}/C^{12} della frazione carbonatica dei depositi fluorito-baritici quaternari dell'area craterica di Latera (Viterbo)*, Rend. Soc. It. Min. Petr., 30, (2), 673.
- MARINELLI G., MITTEMPERGER M. (1966) - *On the genesis of some magmas of typical mediterranean (Potassic) suite*, Bull. Vulcanol., 29, 113.
- MASI U., TURI B. (1971) - *La composizione isotopica dell'ossigeno e del carbonio del carbonato presente nei depositi calcitico-fluoritici pleistocenici dei Colli della Farnesina (Roma) e di Colle di Pianciano (Bracciano)*, Per. Min., 40, 214.
- MASTRANGELO F. (1972) - *Prospezione geomineraria per fluorite in formazioni lacustri del Lazio settentrionale e relative ricerche giacimentologiche ed analitiche*. Tesi di laurea. Politecnico di Torino.
- MATTEUCCI E., MIÉ R. (1970) - *Notizie preliminari sugli studi relativi al giacimento fluorito-baritico sedimentare di Pianciano-Castel Giuliano (Lazio)*, Boll. Ass. Min. Subalpina, 7, 382.
- MATTEUCCI E., MIÉ R. (1971) - *Il giacimento fluorito-baritico sedimentare di Pianciano-Castel Giuliano (Lazio)*, Boll. Ass. Min. Subalpina, 8, 411.
- MATTEUCCI E., MIÉ R. (1972) - *I depositi fluorito-baritici sedimentari laziali. Compendio delle conoscenze attuali*, Atti Giorn. Studio su «Le fluoriti italiane», vol. II, 85, Torino.
- MATTIAS P. P., VENTRIGLIA U. (1970) - *La regione vulcanica dei Monti Sabatini e Cimini*, Mem. Soc. Geol. It., 9, 331.
- NAPPI G. (1969) - *Stratigrafia e petrografia dei Vulsini sud-occidentali (caldera di Latera)*, Boll. Soc. Geol. It., 88, 171.
- NAPPI (1974) - *Comunicazione personale*.
- NICOLETTI M. (1969) - *Datazioni argon-potassio di alcune vulcaniti delle Regioni vulcaniche Cimina e Vicana*, Per. Min., 38, (1), 1.
- RIBACCHI R. (1972) - *Alcune osservazioni sulle caratteristiche meccaniche del minerale fluoritico sedimentario di Castel Giuliano (Lazio)*, Atti Giorn. Studio su «Le fluoriti italiane», vol. II, 517, Torino.
- RITTMAN A. (1967) - *I vulcani e la loro attività*, Cappelli ed., Bologna.
- RUSSO M. (1932) - *Appunti geologici sulle colline della Farnesina presso Roma*, Boll. R. Uff. Geol. It., 57, (5), 1.
- SCHERILLO A. (1948) - *La differenziazione magmatica nei Vulcani Sabatini*, Schweiz. Mineral. Petrograph. Mitt., 37, (1), 65.
- SCHNEIDER H. (1965), *Petrographie des Lateravulkans und der Magmatische Klung der Monti Vulsini (Prov. Grosseto, Viterbo, und Orvieto, Italien)*, Schweiz. Mineral. Petrograph. Mitt., 45, (1), 331.
- SPADA A. (1969) - *Il giacimento di fluorite e baritina esalativo sedimentario in «facies lacustre», intercalato nei sedimenti piroclastici della zona di Castel Giuliano in prov. di Roma*, L'ind. Min., 20, 501.
- TADDEUCCI A. (1964) - *Il boro e il fluoro nelle regioni vulcaniche dei Colli Albani, del Cimino e di Vico*, Per. Min., 33, 73.
- VIGHI L. (1956) - *Sulla genesi dei solfuri di ferro e dello zolfo nativo solfatarici di alcune località del Lazio*, Boll. Soc. Geol. It., 75, (1), 93.
- ZUCCHETTI S. (1972) - *I giacimenti di fluorite dell'area peninsulare italiana*, Atti Giorn. Studio I su «Le fluoriti italiane», vol. I, 30, Torino.