

SERGIO VANNUCCI *, RICCARDO VANNUCCI **, ROBERTO FRANCHI ***
AMBROGIO MAZZUCOTELLI ****

PRESENZA DI LIVELLI VULCANOCLASTICI AL TETTO DELLA SCAGLIA BIANCA UMBRO-MARCHIGIANA

RIASSUNTO. — Nell'ambito delle indagini petrografiche e geochemiche sulla Scaglia Bianca e sulla Scaglia Rossa umbro-marchigiana è stato effettuato uno studio di dettaglio del « livello Bonarelli », molto noto nella letteratura geologica per le sue singolari caratteristiche (elevato contenuto in sostanze bituminose e abbondanti resti fossili e al quale vari Autori hanno attribuito un importante significato stratigrafico, data anche la sua grande estensione areale. Tale livello, che in realtà è costituito da una successione di alcune decine di sottili strati, neri o grigi o giallastri, spesso con vistose laminazioni e talora gradati, è stato campionato in tre diversi affioramenti (Gola del Bottaccione, Gola di Burano e Passo del Furlo).

La composizione mineralogica, assai semplice, è risultata uniforme e caratterizzata da quarzo in tenori elevatissimi (dovuti in parte a un'abbondante fauna a Radiolari) e minerali argillosi (montmorillonite, illite-montmorillonite e illite idrata), talora accompagnati da apatite e calcite (per lo più secondaria).

Lo studio in sezione sottile ha consentito di evidenziare, oltre l'abbondanza e le dimensioni dei Radiolari, frammenti di originario vetro vulcanico in una « matrice » finissima e spesso ricca in sostanze bituminose.

I dati chimici, ottenuti dalle analisi sia dei campioni totali che dalle frazioni inferiori a 10 micron, ricavate da un certo numero di campioni per allontanare i Radiolari, confermano l'origine essenzialmente vulcanoclastica del « livello Bonarelli »; i tenori degli elementi sia maggiori che minori, e i loro rapporti, indicano un vulcanismo di tipo riodacitico-dacitico.

E da segnalare che il « livello Bonarelli » non costituisce un episodio isolato essendo preceduto nella serie da alcuni sottili strati che presentano composizioni mineralogiche e chimiche del tutto simili.

ABSTRACT. — The « Bonarelli level » has been investigated in the framework of the studies in the Umbro-Marchean Scaglia. The « Bonarelli », almost at the top of the Scaglia Bianca, is a well known bituminous level and a very important guide-level for stratigraphic correlations because of its peculiar characteristics and the great regional extension.

Nevertheless such a level is constituted by numerous mainly siliceous intervals (from few mm to 4-5 cm thick); lamination and graded bedding are frequent.

The analysed samples are coming from the Bottaccione Gorge, near Gubbio, the Burano Gorge and the Furlo Pass.

The thin section description shows the presence of Radiolaria, sometimes in abundance, of « volcanic glass » in a fine-grained matrix and carbonaceous matter.

X-ray studies reveal high quartz-contents, apatite and calcite; the latter is present as

* C.N.R. - Centro di Studio per la Mineralogia e la Geochemica dei Sedimenti, Firenze, e Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università di Urbino. ** Istituto di Geologia dell'Università di Urbino. *** C.N.R. - Centro di Studio per la Mineralogia e la Geochemica dei Sedimenti, Firenze. **** Istituto di Petrografia dell'Università di Genova.

neof ormation. The clay mineral fraction is always constituted by montmorillonite, illite and illite-montmorillonite mixed layer.

Chemical compositions of the whole samples and the Radiolaria-free fraction (10 microns inferior) indicate a volcanoclastic origin of « Bonarelli level ». Minor and trace-element contents (mainly Zr, Nb and Y) indicate a dacitic-ryodacitic composition of detritus. Chemical composition of carbonate fraction is given too.

It is also outlined that the « Bonarelli » is not a isolate event. Some thin levels exhibit the same mineralogical, petrographic and geochemical features below the « Bonarelli level ».

On the basis of present and previous data it is necessary a critical assessment of geological and sedimentologic interpretation of the Scaglia Formation.

Introduzione

Recenti risultati di uno studio regionale (WEZEL, 1979) hanno rimesso in discussione le teorie sul carattere pelagico della sedimentazione e sulla continuità stratigrafica dal Turoniano all'Eocene medio della Scaglia dell'Italia centrale, consentendo così la formulazione di nuove interpretazioni sedimentologiche e stratigrafiche. Da tale studio regionale sono in particolare emersi problemi relativi al contatto tra la Scaglia Bianca e la Scaglia Rossa, al tipo di sedimentazione, alla provenienza del materiale clastico, al significato delle zone a Foraminiferi planctonici, alla stima della velocità di sedimentazione, al significato della stratigrafia paleomagnetica, alla paleogeografia e alla continuità stratigrafica, confermando il rinnovato interesse su tali formazioni e in particolare sulla « sezione tipo » del Bottaccione (Gubbio).

Sulla Scaglia esistono numerose pubblicazioni a carattere biostratigrafico (LUTERBACHER & PREMOLI SILVA, 1962 e 1964) basate essenzialmente sulla classica divisione di RENZ (1936 e 1951), magnetostratigrafico (ALVAREZ et al., 1977; LOWRIE & ALVAREZ, 1977 a, 1977 b e 1977 c), litostratigrafico e sedimentologico (ARTHUR & FISCHER, 1977), tettonico (LOWRIE & ALVAREZ, 1975; VANDENBERG et al., 1975 e 1978).

Recentemente ALVAREZ et al. (1980) hanno ipotizzato, in base alle alte concentrazioni di iridio osservate al limite Cretacico-Terziario anche nella serie di Gubbio, un apporto di materiale di origine extraterrestre dovuto all'impatto di un asteroide: tale evento sarebbe stato responsabile della grande estinzione di specie viventi verificatesi circa 65 milioni di anni fa.

Se tale produzione caratterizza la Scaglia sotto il profilo geologico, sedimentologico, stratigrafico e micropaleontologico, risulta d'altra parte evidente la mancanza di un corrispondente contributo a carattere mineralogico, petrografico e geochimico, esistendo in letteratura solo un lavoro di GRATZIU & SCHIAFFINO (1967) e una prima nota sulla Scaglia Bianca e sulla Scaglia Rossa della sezione del Bottaccione di VANNUCCI S. et al. (1979).

In quest'ultimo lavoro sono emersi alcuni risultati contrastanti con il quadro geologico e sedimentologico fin'ora accettato per le due formazioni: sostanziali differenze composizionali fra la Scaglia Bianca e quella Rossa, presenza in entrambe

di materiale terrigeno proveniente da un margine continentale ed infine l'esistenza di livelli a probabile componente vulcanoclastica intorno al limite C-T.

Nel corso di tale studio e nel proseguo delle indagini petrografiche e geochemiche, svolte sempre nell'ambito del programma di studio sulla Scaglia promosso dall'Istituto di Geologia dell'Università di Urbino, si sono osservate nel «livello Bonarelli», al tetto della Scaglia Bianca umbro-marchigiana, caratteristiche tali da richiedere uno studio di dettaglio su diversi affioramenti. I risultati emersi da tale indagine mineralogica, petrografica e geochemica si sono rivelati di particolare interesse e significato e si ritiene possano contribuire con nuovi dati all'approfondimento delle conoscenze e alle discussioni attualmente in corso sulla Scaglia.

Studi precedenti

Il «livello Bonarelli» è molto noto nella letteratura geologica per le sue particolari caratteristiche: grande diffusione orizzontale, elevato contenuto in sostanze bituminose e abbondanti resti fossili, e viene quindi considerato un livello-guida di notevole valore. In bibliografia le prime segnalazioni risalgono a BONARELLI (1891), PRINCIPI (1922), LOTTI (1926), e, successivamente, a RENZ (1936 e 1951) e a SELLI (1954).

Quest'ultimo definisce il livello, da lui chiamato «strato bituminoso del Cenomaniano», come una marna più o meno bituminosa, sottilmente stratificata, di disposizione lentissima e batiale. Segnala le frequenti «efflorescenze» gialle, da lui interpretate come zolfo, e le mineralizzazioni a pirite.

L'Autore fornisce inoltre una dettagliata descrizione delle zone di affioramento segnalando la presenza del livello nella parte alta o al tetto della Scaglia Bianca, ma talora anche nella Scaglia Rossa vera e propria.

A BARNABA (1958) si deve una più approfondita descrizione del livello: fitta alternanza di livelletti «calcareo-marnosi bruno-nerastri ... e di livelletti argilloso-scistosi nerastri, talora giallo ocracei per alterazioni ferrose. Localmente sono presenti noduletti di selce grigia scura o nerastra».

Accanto alla descrizione, viene riportata la composizione mineralogica di un campione (quarzo 45 %, illite 19 %, pirite 6,5 %, rutilo + ematite 3 %, CaCO_3 + MgCO_3 4 %, sostanza organica 18,5 %), sulla base della quale viene definito «argilla marnosa, quarzoso-illitica, ricca di sostanza organica, nonché di pirite, di probabile origine secondaria».

L'Autore rileva anche la particolare fauna del «livello Bonarelli», composta da Radiolari di quattro forme principali, a differenza delle faune degli strati soprastanti e sottostanti, caratterizzate da Foraminiferi; questa variazione faunistica viene interpretata come conseguenza di modificazioni ambientali.

L'accostamento tra eventi geologici di rilievo, in particolare per la microfauna planctonica (estinzione di Rotaliporinae), e le circostanze che hanno portato alla deposizione del «livello Bonarelli» è stato sottolineato più recentemente da WONDERS (1979). Per primo, cita il «Bonarelli» come un livello non calcareo e segnala la

presenza di laminazioni, dovute a livelli caratterizzati da un maggiore addensamento dei Radiolari e nettamente separati da quelli sottostanti, che potrebbero far pensare a una risedimentazione del materiale per effetto di modeste correnti di torbida.

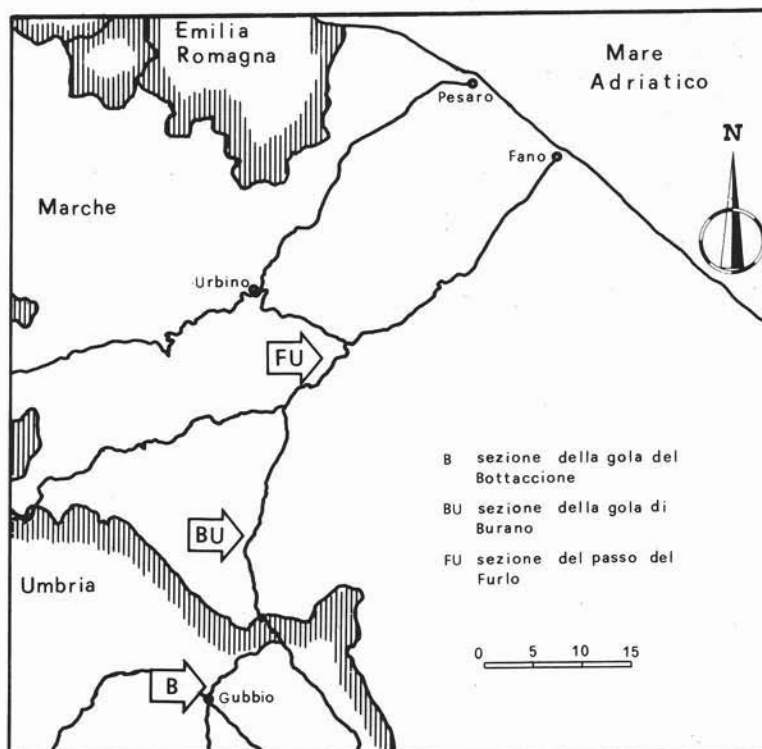


Fig. 1. — Localizzazione delle sezioni studiate.

Caratteri sedimentologici e campionamento

Nella serie stratigrafica, come già accennato, il «livello Bonarelli» si trova generalmente al tetto della Scaglia Bianca, più o meno in prossimità del limite con la soprastante Scaglia Rossa. L'età attualmente è riferita al Turoniano.

Per il presente studio sono state prese in considerazione tre sezioni che offrono una buona esposizione del livello e all'incirca allineate secondo una direzione antiappenninica (fig. 1): sezione della Gola del Bottaccione, sezione della Gola di Burano e sezione del Passo del Furlo. Nelle tre sezioni il «livello Bonarelli» è sempre compreso nella parte più alta della Scaglia Bianca ed ha una potenza di circa 1 m.

Il livello, all'osservazione sul terreno, si rivela costituito da una fitta alternanza di sottili strati di spessore variabile (da pochi mm a 45 cm) e di colore da nero,

a grigio, a giallo ocra. È da rilevare che gli strati di maggiore potenza sono quelli neri, fortemente impregnati di sostanze bituminose.

Sotto il profilo sedimentologico si notano frequentemente gradazioni verticali evidenziate dai Radiolari, laminazioni piane o ondulate dovute soprattutto a una maggiore o minore concentrazione delle sostanze bituminose e non sono rare, al letto degli strati, vistose, anche se di piccole dimensioni, impronte basali.

Tutti questi caratteri inducono a ritenere che il materiale abbia subito un certo rimaneggiamento forse ad opera di modeste correnti di torbida.

Anche la coerenza dei singoli straterelli è variabile; molto compatti quelli fortemente impregnati dalle sostanze bituminose, più o meno friabili gli altri. Sono anche presenti alcuni sottili livelli a granulometria e consistenza argillose.

Frequenti e diffuse, specie nella sezione di Burano, sono varie mineralizzazioni, alcune delle quali chiaramente sinsedimentarie, come quelle a solfuri che si presentano sotto forma di noduli, aggregati reniformi o « filoncelli » strati-formi che interessano la parte mediana dei livelli più bituminosi, oppure secondarie come le « patine » giallastre negli interstrati, gli aggregati di minuti cristalli incolori e le efflorescenze biancastre presenti nei punti riparati dal dilavamento delle acque.

È da segnalare che nell'intervallo stratigrafico immediatamente sottostante il « Bonarelli » sono stati individuati diversi altri livelli, più o meno sottili, con caratteristiche molto simili. Questi, particolarmente evidenti nella sezione del Furlo dove si spingono fino a 12 m sotto il « Bonarelli », sono stati accuratamente localizzati e campionati al fine di stabilirne l'eventuale identità con il livello oggetto di studio.

Senza entrare in una dettagliata descrizione dei singoli campioni, la cui posizione stratigrafica e potenza sono indicate in tabella 1, si ritiene sufficiente segnalare che il campionamento è stato effettuato in modo che ogni singolo campione comprendesse materiale proveniente da un solo strato.

Tuttavia durante la preparazione dei campioni per le successive indagini è apparso che in molti campioni erano presenti due o più parti con caratteristiche, di colore o di granulometria, diverse e pertanto si è dovuto procedere a delle ulteriori suddivisioni. Tali parti, nelle tabelle dei dati analitici, sono state distinte con una lettera affiancata al numero del campione.

Si ritiene utile tuttavia una breve descrizione dei sottili strati « pre-Bonarelli » della sezione del Furlo, già accennati, poiché non risultano essere stati segnalati in letteratura.

Il primo (FU 2), rinvenibile a — 12 m dalla base del « Bonarelli », è costituito da uno strato di 2 cm di argilla grigia e notevolmente plastica.

Immediatamente soprastante e a contatto col precedente è presente un « pacco », di spessore totale di 10 cm, di sottili strati marnosi di potenza sempre inferiore a 0,5 cm, separati l'uno dall'altro da sottilissimi « veli » neri bituminosi (FU 4).

A — 3 m si riscontra uno straterello (FU 5) di 1 cm composto da una parte di base nera (FU 5a), del tutto simile a certi livelli del « Bonarelli », e una di

tetto grigiastra (FU 5 *b*), a granulometria finissima, nella quale spiccano piccoli Radiolari.

A — 2,95 m è presente un livelletto piegato e ondulato, di 2-3 mm di spessore, di argillite color avana racchiuso fra due «veli» nerissimi (FU 6). Lo straterello è nettamente gradato e tale caratteristica è messa in evidenza dalle dimensioni dei Radiolari presenti al letto e al tetto.

È chiaro che le caratteristiche sopra descritte evidenziano le notevoli analogie di questi livelli col «Bonarelli» vero e proprio.

Metodi di studio

Da ciascun campione, accuratamente ripulito da qualunque tipo di impurità e, per quanto possibile, dalle patine e incrostazioni secondarie, è stata ricavata una porzione rappresentativa che, previa frantumazione in mortaio d'agata, è stata ridotta mediante mulino a palle in polvere inferiore a 100 micron.

Da oltre due terzi dei campioni è stato pure ricavato un frammento di dimensioni adeguate per la realizzazione della sezione sottile; in alcuni casi, è stato possibile preparare da un singolo campione la sezione parallela e quella perpendicolare al piano di stratificazione.

La composizione mineralogica principale è stata indagata mediante diffrattometria a raggi X con apparecchiatura G.E. XRD 5 in condizioni operative tali da consentire il riconoscimento di tutte le fasi mineralogiche presenti anche in piccole quantità. Dei singoli componenti sono stati eseguiti dei dosaggi semiquantitativi, ritenendo superflue delle vere e proprie analisi quantitative, che del resto sarebbero state problematiche dato il tipo particolare del materiale studiato.

Indagini particolari di carattere diffrattometrico sono state condotte sulle «patine» gialle, sugli aggregati di cristalli incolori, sui solfuri e sulle efflorescenze biancastre.

In taluni casi, a conferma dei dati diffrattometrici, sono state eseguite osservazioni al microscopio elettronico a scansione e microanalisi mediante lo spettrometro X collegato all'apparecchiatura.

La composizione mineralogica della frazione argillosa è stata determinata, sempre per diffrattometria a raggi X, sulla frazione granulometrica inferiore a 4 micron separata per sedimentazione. Le riprese diffrattometriche sono state condotte su preparati orientati di tale frazione sottoposti ai consueti trattamenti: tal-quale, trattato con glicole etilenico, scaldato a 450° e a 600° C (CIPRIANI & MALESANI, 1972; SFALANGA & VANNUCCI, 1976).

Il dosaggio semiquantitativo dei componenti argillosi individuati è stato effettuato sulla base dell'area dei picchi relativi alle riflessioni basali, e non sulla base delle loro lunghezze, dato il particolare tipo di strato misto presente.

Lo studio petrografico delle sezioni sottili, oltre al riconoscimento delle fasi presenti, ha avuto come obiettivi principali il riconoscimento delle strutture e il calcolo delle dimensioni dei Radiolari sia per verificarne la gradazione, sia in

vista di un loro allontanamento per sedimentazione dopo disgregazione del campione.

La disgregazione di opportuni campioni, effettuata mediante ultrasuoni su granulato di 0,8-1,0 mm, e la separazione dei Radiolari si sono rese necessarie al fine di determinare la composizione chimica del materiale esente dall'« inquinamento biologico ».

La determinazione della composizione chimica dei campioni totali è stata effettuata secondo quanto indicato in BASSO & MAZZUCOTELLI (1975). Un'aliquota del campione è stata solubilizzata mediante attacco acido per HF e HClO₄ con ripresa finale in HCl: su tale soluzione sono stati determinati mediante spettrofotometria per assorbimento atomico Fe_{tot.}, K, Na, Mg, Ca, Mn, mentre Ti e P sono stati determinati con metodi colorimetrici. Su una seconda aliquota, solubilizzata mediante fusione con Na₂O₂ in crogiuolo di Ni e ripresa con HCl, si è proceduto alla determinazione di SiO₂, Al₂O₃ con metodi colorimetrici. Zr, Nb e Y sono stati dosati, previa fusione del campione con Na₂O₂, per via colorimetrica rispettivamente con XO, PAR e Arsenazo III dopo separazione su resine a scambio ionico secondo quanto indicato in MAZZUCOTELLI et al. (1977 a, 1977 b e 1978).

Bassi valori di CO₂ sono stati determinati su aliquote a parte mediante apparecchio di Strolhein, mentre per tenori di oltre il 20 % di CO₂ si è seguito il metodo di titolazione acido-base. Lo zolfo è stato determinato mediante il metodo volumetrico per combustione.

Per quanto concerne le analisi della frazione carbonata si è proceduto alla solubilizzazione della frazione stessa mediante HCl 1 M. I vari elementi sono stati quindi determinati per spettrofotometria in assorbimento atomico: Ca e Mg secondo le metodologie proposte da BASSO & MAZZUCOTELLI (1975), Sr, Mn e Fe_{tot.} secondo ROBINSON (1980).

Il residuo insolubile è stato determinato per via ponderale mediante filtri a setto poroso di vetro.

Caratteri mineralogici e petrografici

La composizione mineralogica principale, come del resto quella della frazione argillosa, è risultata assai semplice e uniforme e si è ritenuto quindi superfluo riportare i singoli dati analitici.

Il componente di gran lunga più abbondante, anche laddove manca la fauna a Radiolari, è risultato il quarzo (tenori fino all'80 %). I feldspati, rappresentati da soli termini potassici, sono presenti solo sporadicamente e in quantità appena rilevabili; la calcite, mai presente nei campioni della sezione del Bottaccione, non è frequente e, come evidenziato dalle osservazioni in sezione sottile, è generalmente secondaria. È invece un costituente fondamentale e primario nei livelli « pre-Bona-relli » del Furlo, eccettuato il campione FU 2.

Accessoria, con una certa frequenza e in tenori fino a qualche per cento (come

TABELLA 1
*Composizione mineralogica della frazione argillosa dei campioni
delle tre sezioni studiate*

Campione	Intervallo stratigrafico	M %	IM %	I %	K %	Cl %
B 82a	+ 0,10 - 0,12 m	45	45	10	-	-
B 82b _{fine}	+ 0,12 - 0,13 m	35	50	15	-	-
B 82b _{tot.}	" " "	30	55	15	tr	-
B 83	+ 0,25 - 0,30 m	30	55	15	-	-
B 84a	+ 0,85 - 0,88 m	40	50	10	-	-
B 84b	+ 0,88 m	35	50	15	-	-
B 85a	+ 0,98 - 0,99 m	35	50	15	tr	-
	$\bar{x}$	36	51	13	-	-
	σ	5	4	2	-	-
BU 1	+ 0,02 m	50	40	10	-	-
BU 2	+ 0,04 m	50	35	15	-	-
BU 3a	+ 0,05 - 0,07 m	45	45	10	-	-
BU 3b	" " "	45	40	15	-	-
BU 4a	+ 0,08 - 0,09 m	50	40	10	tr	tr
BU 4b	" " "	45	45	10	tr	tr
BU 5a	+ 0,10 - 0,11 m	55	35	10	tr	-
BU 5b	" " "	45	45	10	tr	tr
BU 6a	+ 0,13 - 0,15 m	45	45	10	-	-
BU 6b	" " "	45	40	15	-	-
BU 7	+ 0,16 - 0,18 m	40	50	10	-	-
BU 8	+ 0,22 - 0,24 m	60	35	10	-	-
BU 9	+ 0,30 - 0,31 m	50	40	10	tr	tr
BU 10	+ 0,36 - 0,38 m	55	35	10	-	-
BU 11	+ 0,40 - 0,44 m	45	40	15	-	-
BU 12	+ 0,50 - 0,53 m	35	50	15	tr	-
BU 13a	+ 0,88 - 0,91 m	45	45	10	tr	tr
BU 13b	" " "	35	50	15	tr	tr
BU 14	+ 0,97 - 0,98 m	50	40	10	-	tr
	$\bar{x}$	47	42	11	-	-
	σ	6	5	2	-	-
FU 2	- 12,00 - 12,02 m	30	55	15	tr	tr
FU 4	- 11,90 - 12,00 m	40	50	10	tr	tr
FU 5a	- 3,00 - 3,01 m	35	45	20	tr	tr
FU 5b	" " "	40	45	15	-	tr
FU 6	- 2,95 m	45	45	10	-	-
FU 7a	+ 0,10 - 0,11 m	40	45	15	-	-
FU 8	+ 0,45 - 0,46 m	50	40	10	tr	tr
FU 9	+ 0,60 - 0,61 m	50	40	10	tr	tr
FU 10	+ 0,90 - 0,93 m	25	55	20	-	-
FU 11	+ 0,99 - 1,00 m	45	45	10	-	-
	$\bar{x}$	40	47	13	-	-
	σ	8	5	4	-	-

ad esempio nel camp. BU 5a), è l'apatite della quale non è stato possibile stabilirne le caratteristiche cristallografiche per l'impossibilità di arricchimento.

La frazione argillosa, non considerando le minime quantità (sempre inferiori al 5%) talora presenti di clorite e di caolinite, è costantemente caratterizzata

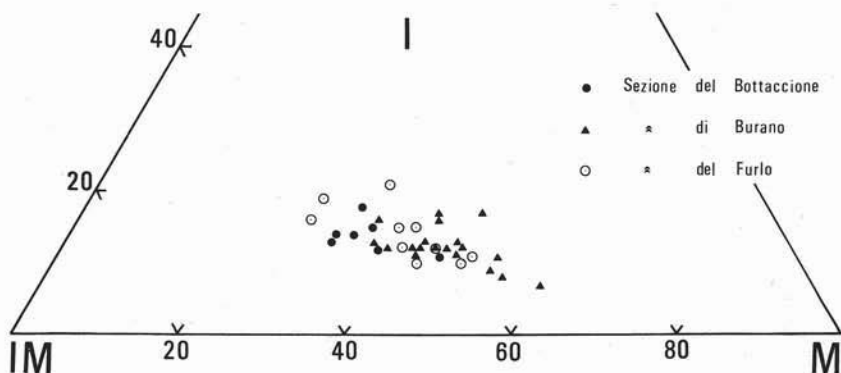


Fig. 2. — Diagramma ternario illite, illite-montmorillonite, montmorillonite nel quale sono rappresentate le composizioni dei campioni studiati. Per la rappresentazione diagrammatica, onde evitare numerosissime sovrapposizioni di punti, si sono utilizzati i valori non arrotondati al 5%.

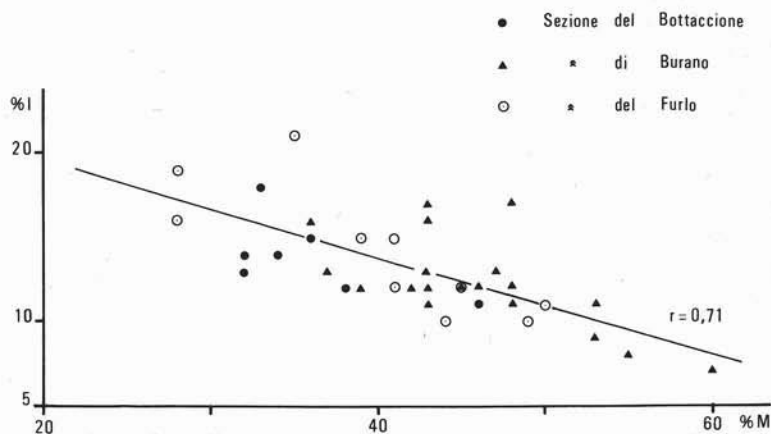


Fig. 3. — Diagramma che visualizza la correlazione di tipo lineare esistente fra tenori di illite e montmorillonite, e relativa retta di regressione di equazione: $\%I = -0,29 \%M + 25,35$ ($Q.C. > 99\%$). Anche in questo caso si sono utilizzati i valori non arrotondati.

dall'associazione montmorillonite, illite idrata e relativo strato misto (v. tabella 1) in tenori compresi in un campo di variabilità piuttosto ristretto. Caratteristica peculiare — sia nei campioni del « Bonarelli » che nei livelli definiti come « pre-Bonarelli » — è la presenza di uno strato misto illite-montmorillonite che non è

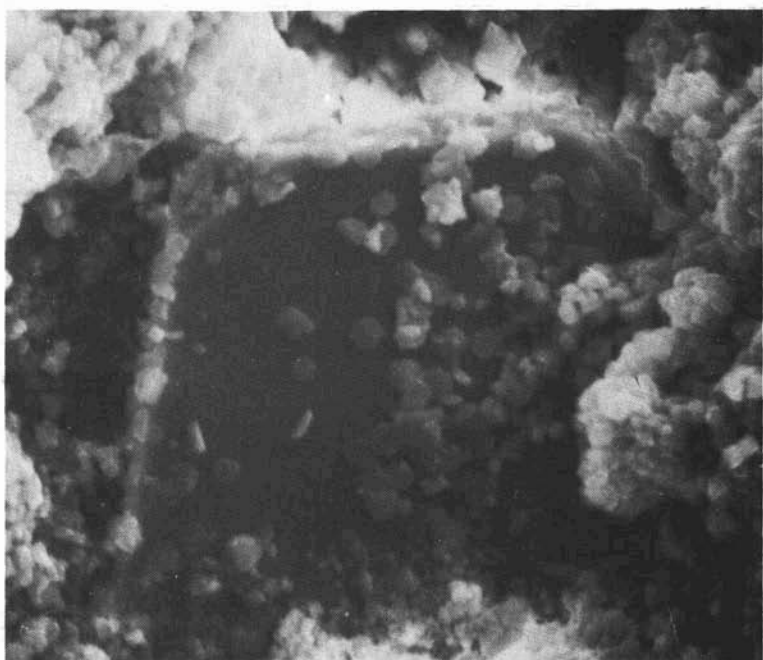


Fig. 4. — Aggregati e cristalli isolati di jarosite impostati su un grosso individuo di baritina. Si noti la granulometria uniforme (attorno ai 2 μ) della jarosite (SEM x 2.500).

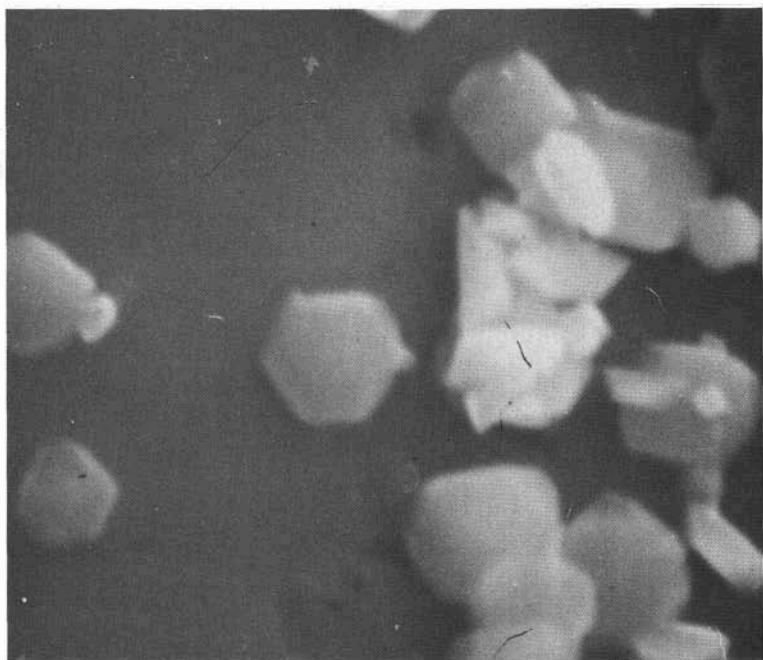


Fig. 5. — Particolare di fig. 4 nel quale si osserva il frequente habitus esagonale dei cristalli di jarosite (SEM x 10.000).



Fig. 6. — Camp. B 83 (sezione perpendicolare allo strato): dimensioni dei Radiolari alla base dello strato. L'interno dei fossili è costantemente occupato da aggregati di calcedonio autigeno (ingr. lineari 110, nicols incrociati).

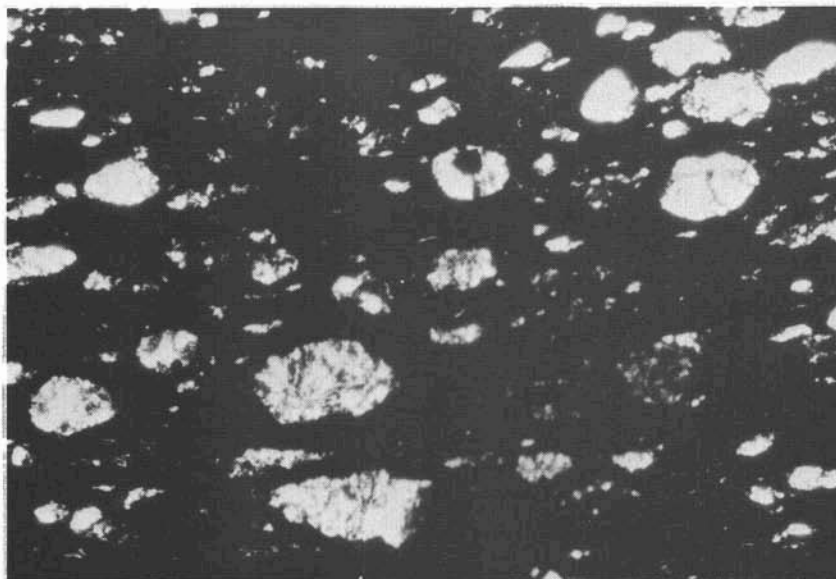


Fig. 7. — Camp. B 83 (sez. perp. allo strato): dimensioni dei Radiolari al tetto dello strato; si noti pure la maggiore quantità di «matrice» fortemente impregnata di sostanze bituminose (ingr. lineari 110, nicols incrociati).

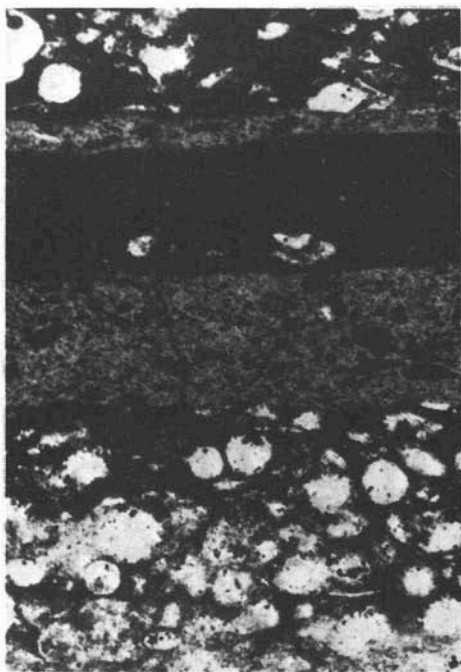


Fig. 8. — Camp. BU 13 (sez. perp. allo strato): laminazioni piane determinate sia dalla diversa quantità di sostanze bituminose che da « microlivelli » praticamente privi di Radiolari alternativamente fortemente bituminosi e marnoso-bituminosi (ingr. lineari 110, solo polarizzatore).



Fig. 9. — Camp. BU 12 (sez. perp. allo strato): frammenti di originario vetro vulcanico, orientati secondo la stratificazione, immersi in una matrice particolarmente ricca in sostanze bituminose (ingr. lineari 110, solo polarizzatore).

in realtà un termine definito presentando tutte le possibili composizioni comprese fra l'illite e la montmorillonite. Questo fatto e l'osservazione di un preciso rapporto quantitativo fra illite e montmorillonite, osservabile nelle figure 2 e 3, portano a concludere che la genesi dell'illite sia da ricercarsi nella trasformazione della montmorillonite, attraverso lo strato misto, nell'ambiente di sedimentazione.

La montmorillonite sarebbe quindi il solo minerale argilloso « primario » nel sedimento, ed essendo difficile ipotizzare un apporto detritico caratterizzato da un solo minerale argilloso essa potrebbe essere facilmente spiegata come il prodotto di trasformazione di prodotti vulcanici, essenzialmente vetrosi, a granulometria molto fine.

È del resto il caso riscontrabile, ad esempio, nei sedimenti recenti delle Fosse del Canale di Sicilia dove sono presenti argille caratterizzate dalla stessa associazione mineralogica e nelle quali la genesi della montmorillonite da materiale vulcanico è confermata dalla costante presenza di vetro nella frazione « sabbiosa » (VANNUCCI S., VANNUCCI R. & FRANCHI, 1980).

Per quanto concerne le varie mineralizzazioni descritte in precedenza, di notevole interesse è la constatazione che le « patine » giallastre, fin'ora descritte



Fig. 10.



Fig. 11.

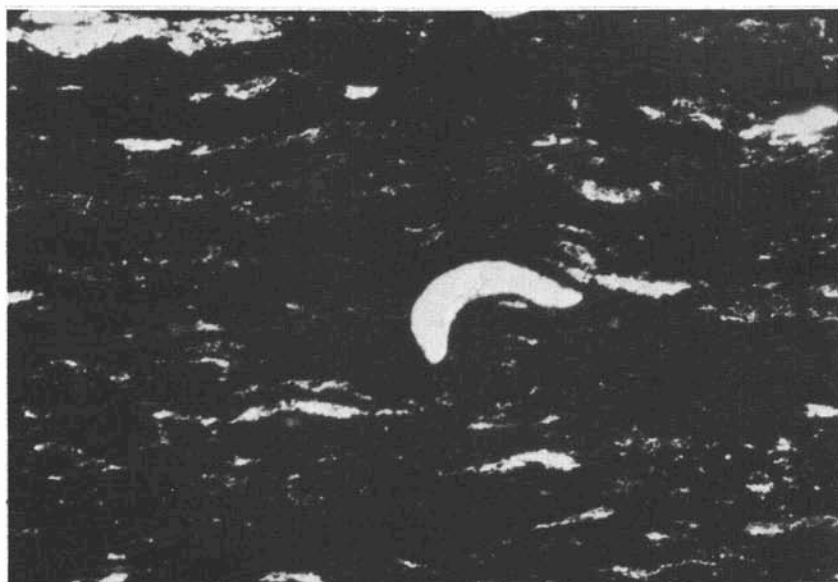


Fig. 12.

Figg. 9-12. — Camp. BU 12 (sez. perp. allo strato): frammenti di originario vetro vulcanico, orientati secondo la stratificazione, immersi in una matrice particolarmente ricca in sostanze bituminose (ingr. lineari 110, solo polarizzatore).

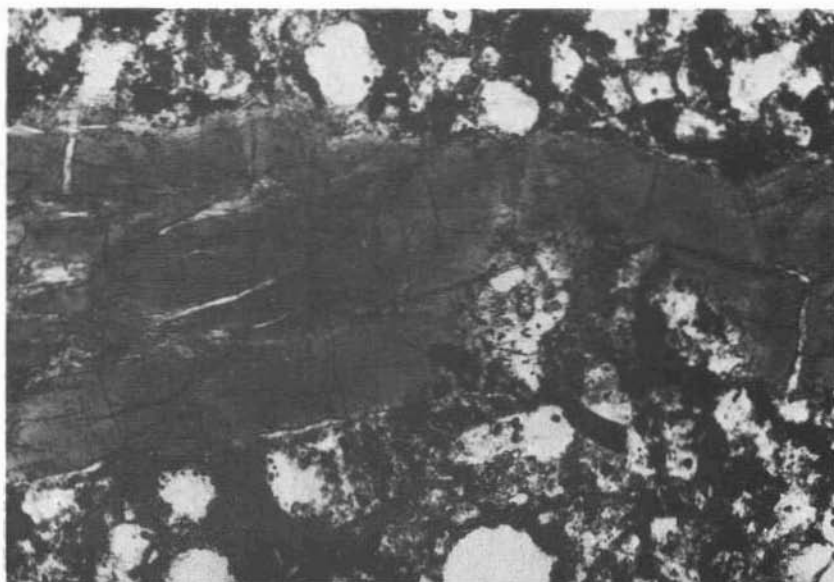


Fig. 13. — Camp. BU 8 (sez. parall. allo strato): grosso frammento di originario vetro vulcanico del tutto argillificato (ingr. lineari 110, solo polarizzatore).

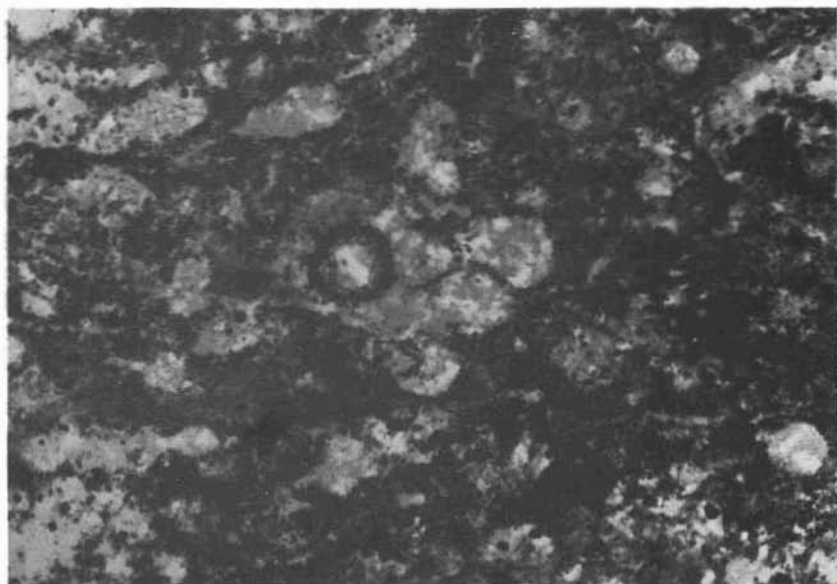


Fig. 14. — Camp. B 82 a (sez. parall. allo strato): aggregato « a corona » di minuti cristalli di apatite autigena (ingr. lineari 110, solo polarizzatore).

come « efflorescenze » di zolfo o « alterazioni » ferrose, sono costituite da sottilissime incrostazioni di jarosite. Al microscopio elettronico esse si rivelano composte

da minuti cristalli, spesso ad habitus esagonale, con dimensioni notevolmente costanti, talora impostati, e quindi secondari rispetto a questi, su cristalli tabulari di notevoli dimensioni (figure 4 e 5). Questi ultimi, già segnalati come aggregati di cristalli incolori, sono risultati di baritina. La jarosite, sulla base dello spettro di polveri e delle microanalisi eseguite nel corso delle osservazioni al SEM, è risultata un termine a K, praticamente puro.

È evidente che nel caso presente non è invocabile una genesi della jarosite a seguito di fenomeni idrotermali; si deve pertanto concludere per una sua origine secondaria in condizioni di bassa temperatura e in ambiente ricco in S. Quest'ipo-

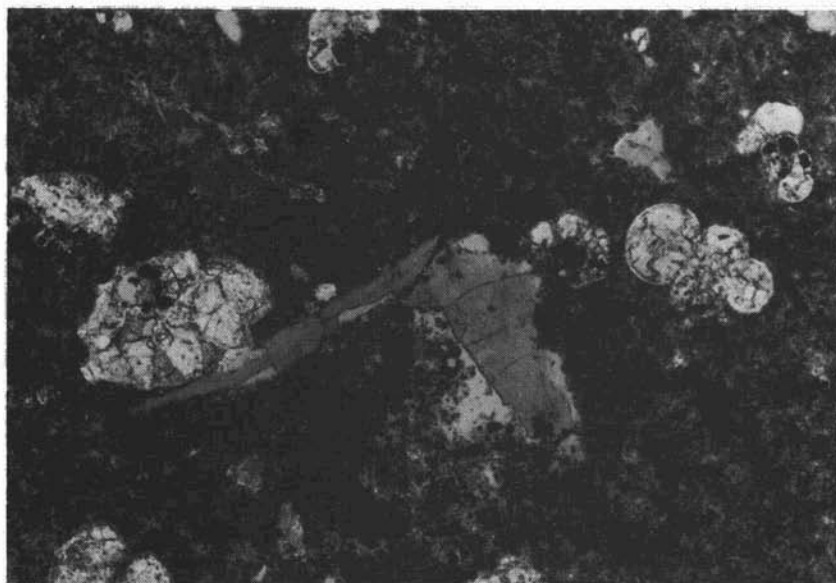


Fig. 15. — Camp. FU 4 (sez. parall. allo strato): originario frammento vetroso presente nel calcare marnoso di uno dei «pre-Bonarelli»; si può osservare una microfauna, costituita da Foraminiferi spatizzati, del tutto diversa da quella del «Bonarelli» (ingr. lineari 110, solo polarizzatore).

tesi concorda peraltro con quella prospettata recentemente per la natrojarosite presente nelle argille varicolori della Lucania (BALENZANO & DI PIERRO, 1980).

L'abbondanza di S nel sedimento è ulteriormente messa in evidenza, oltre che dalle composizioni chimiche riportate in tabella 7, dalle mineralizzazioni a solfuri (essenzialmente pirite) e dagli altri minerali secondari: baritina, melanterite sotto forma di efflorescenze costituite da ciuffi di cristalli fibrosi biancastri, e gesso. Quest'ultimo, non riscontrabile negli affioramenti, è cristallizzato su alcuni campioni come aggregati bianchi discoidali durante l'essiccamento in laboratorio a temperatura ambiente.

Le osservazioni in sezione sottile hanno consentito di valutare la quantità e le dimensioni dei Radiolari i quali, salvo poche eccezioni costituite da alcuni livelli o parti di essi, sono sempre presenti negli strati che formano il «livello

Bonarelli». La loro quantità è variabile, ma sempre notevole, giungendo talora fino a circa il 70 % del campione. Di gran lunga prevalenti sono le forme sferiche, il cui interno è costituito da calcedonio autigeno, con dimensioni assai variabili (da circa 30 micron ad alcune centinaia) che in genere mettono in risalto la gradazione dello strato (figure 6 e 7). Evidentissime sono le microlaminazioni determinate da addensamenti di sostanze bituminose e, talora, da livelletti marnosi (figura 8).

Praticamente costante, anche nei «pre-Bonarelli», è la presenza di «clasti» la cui forma caratteristica (figure 9, 10, 11 e 12) permette di identificarli come originari frammenti di vetro vulcanico. Le dimensioni variano da poche decine di micron fino al mm (fig. 13); al solo polarizzatore appaiono rossastri e a nicols incrociati presentano una bassa birifrangenza rivelando un completo stato di argillificazione.

L'apatite per le dimensioni estremamente piccole dei singoli individui, per il tipo degli aggregati e per il fatto di essere frequentemente all'interno dei Radiolari dimostra un'origine secondaria (figura 14).

Nel «Bonarelli» vero e proprio la calcite è quasi sempre secondaria e si presenta come lenticelle, piccole plaghe e come riempimento di esili fratture. Nei livelli «pre-Bonarelli», a eccezione di quello stratigraficamente più basso (FU 2), la calcite è primaria e in tenori tali da doverli considerare (se si escludono i Radiolari) delle marne o dei calcari marnosi. I Radiolari sono riscontrabili solo nei due livelli più alti (FU 5 e FU 6) denotando il progressivo cambiamento delle condizioni chimico-fisiche dell'ambiente che culminerà con la deposizione del «Bonarelli». Anche nel livello sottostante (FU 4), pur costituito da calcari marnosi con abbondante fauna a Foraminiferi (figura 15), i sottilissimi «interstrati» bituminosi denotano tale cambiamento. Inoltre l'identità della frazione non carbonatica dei «pre-Bonarelli» è dimostrata dalla presenza costante di «frammenti vetrosi» e dalla composizione della frazione argillosa.

Caratteri chimici

I dati relativi alla composizione chimica principale dei campioni esaminati sono riportati nelle tabelle 2, 3 e 4.

Sulla base di tali dati possono essere dedotte le seguenti considerazioni.

- La silice è largamente dominante, con andamento variabile in relazione alla quantità dei Radiolari presenti nei singoli strati. In effetti non si osservano relazioni significative fra silice e altri elementi, in particolare fra silice e allumina: si ha cioè una «diluizione» dei vari elementi a opera della silice dovuta ai Radiolari.
- Il confronto con la composizione chimica di radiolariti o peliti a Radiolari è reso difficile sia dalla mancanza di sufficienti dati bibliografici, sia per il campo di variabilità notevolmente ampio dei principali ossidi, quali SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , in questi sedimenti (STEINBERG et al., 1977). Inoltre gli studi fin'ora

effettuati non chiariscono a sufficienza le modalità e l'ambiente di formazione delle diverse radiolariti e tanto meno le relazioni fra chimismo e ambiente e modalità di sedimentazione.

Pertanto, se da una parte si possono escludere analogie tra la composizione dei diversi strati del « Bonarelli » e quella di alcune radiolariti per le quali si ipotizza una formazione essenzialmente biogenica senza apporti di materiale piroclastico (AUDLEY-CHARLES, 1965), d'altra parte non è possibile stabilire sulla base della sola composizione chimica principale, nonostante alcune analogie, sicure affinità fra il « Bonarelli » e radiolariti per le quali l'apporto vulcanico è comprovato.

TABELLA 2

Composizione chimica principale dei campioni della sezione del Bottaccione

	B 82a	B 82b F	B 82b T	B 83	B 84a	B 84b	B 85a
SiO ₂ %	89,16	85,11	84,98	82,41	57,41	79,90	81,32
Al ₂ O ₃ %	1,70	1,85	2,68	1,22	2,13	2,35	2,68
CaO %	1,79	1,55	1,89	1,77	1,13	2,80	1,17
MgO %	0,47	1,06	1,07	0,29	0,40	1,00	1,46
Na ₂ O %	0,10	0,12	0,14	0,11	0,42	0,18	0,72
K ₂ O %	0,77	1,67	1,61	0,85	0,98	1,88	2,70
Fe ₂ O ₃ %	0,54	1,55	1,23	0,80	3,09	1,02	2,11
TiO ₂ %	0,11	0,20	0,20	0,09	-	0,22	0,33
P ₂ O ₅ %	0,26	0,42	0,38	0,14	-	0,19	0,15
H ₂ O ⁻ %	0,86	1,44	1,37	0,10	1,60	1,18	2,90
L.O.I.	2,91	4,57	4,46	11,85	32,72	8,64	4,18
TOTALE	98,67	99,54	100,01	99,63	99,88	99,36	99,72
Mn ppm	59	28	54	34	54	71	42

- La composizione chimica della maggior parte dei campioni, particolarmente delle sezioni di Burano e del Furlo, considerando anche i tenori ricalcolati a 100 per eliminazione dei carbonati e della sostanza organica (tabella 5), mostra d'altronde notevoli analogie con quella di prodotti piroclastici acidi e in particolare con quella della « pietra verde » di Livinallongo, interpretata come un deposito tufaceo derivato da un magma riolitico-riodacitico (CALLEGARI & MONESE, 1964; CALLEGARI, 1965).

Le analogie consistono nell'abbondanza di silice e di allumina, sia pure nell'ambito di una notevole variabilità, nella scarsità di elementi ferro-magnesiaci e di calcio, nei bassissimi tenori di manganese. Le sole differenze riscontrabili sono dovute a punte elevatissime dei tenori di silice, determinate ovviamente dall'abbondanza di Radiolari, e ai bassi tenori in alcali, particolarmente in sodio, che caratterizzano il « Bonarelli ».

Quest'ultimo carattere, se si ammette un'origine vulcanoclastica del « Bonarelli »,

TABELLA 3

Composizione chimica principale dei campioni della sezione di Burano

	BU 1	BU 2	BU 3a	BU 3b	BU 3c	BU 4a	BU 4b	BU 5a	BU 5b	BU 6a
SiO ₂ %	64,82	67,53	76,76	73,14	74,58	80,62	78,31	61,51	68,63	76,76
Al ₂ O ₃ %	3,29	11,27	7,26	3,96	10,10	4,57	4,39	10,95	6,10	3,01
CaO %	14,75	1,28	2,46	2,94	2,92	1,78	5,47	7,24	0,95	5,49
MgO %	0,48	1,56	1,30	0,65	1,07	1,34	0,83	1,34	0,77	0,28
Na ₂ O %	0,19	0,33	0,26	0,22	0,22	0,29	0,21	0,45	0,27	0,23
K ₂ O %	0,54	1,69	1,15	0,69	0,77	0,91	0,75	1,43	0,97	0,44
Fe ₂ O ₃ %	0,95	3,38	1,69	1,40	2,09	2,24	1,76	2,37	1,75	0,81
TiO ₂ %	0,05	0,24	0,10	0,10	0,28	0,21	0,19	0,18	0,11	0,05
P ₂ O ₅ %	0,16	0,55	0,19	0,26	0,17	0,98	0,18	4,89	0,37	1,16
H ₂ O %	0,52	3,00	1,47	1,42	1,84	1,82	0,92	2,34	1,75	0,73
L.O.I.	14,36	8,80	7,18	15,30	5,66	5,04	6,82	7,28	17,24	10,57
TOTALE	100,11	99,63	99,82	100,08	99,70	99,80	99,83	99,98	98,91	99,53
Mn ppm	117	66	58	38	104	113	135	94	38	48
CaCO ₃ %	23,50		2,77	3,57	4,61		8,82			7,51
CaO (1) %	13,16		1,55	2,00	2,58		4,94			4,20
CO ₂ %	10,34		1,22	1,57	2,03		3,88			3,31
CaO (2) %	1,59		0,91	0,94	0,34		0,53			1,29

	BU 6b	BU 7	BU 8	BU 9	BU 10	BU 12	BU 13a	BU 13b	BU 14
SiO ₂ %	81,44	74,71	68,95	75,09	56,65	43,77	84,29	87,83	71,93
Al ₂ O ₃ %	5,65	3,73	3,45	8,23	16,22	4,88	3,20	4,72	11,01
CaO %	3,61	8,85	1,08	0,91	1,02	0,59	2,24	0,27	0,66
MgO %	0,69	0,68	0,94	2,70	2,54	4,95	0,49	0,74	1,94
Na ₂ O %	0,18	0,12	0,19	0,21	0,30	0,15	0,14	0,16	0,33
K ₂ O %	0,59	0,48	0,59	1,19	2,41	0,56	0,54	0,45	2,10
Fe ₂ O ₃ %	0,99	0,80	2,82	1,99	4,35	3,72	0,75	0,90	2,17
TiO ₂ %	0,10	0,07	0,10	0,18	0,34	0,16	0,11	0,18	0,20
P ₂ O ₅ %	0,14	0,07	0,63	0,14	0,19	0,32	0,13	0,12	0,23
H ₂ O %	0,80	0,66	0,99	2,77	1,36	1,59	1,02	0,57	2,16
L.O.I.	5,49	9,60	20,46	6,20	14,13	39,16	7,01	4,12	7,02
TOTALE	99,68	99,77	100,20	99,61	99,51	99,85	99,92	100,06	99,75
Mn ppm	87	101	39	46	142	62	45	49	110
CaCO ₃ %	6,10	13,73		1,30			3,63		
CaO (1) %	3,42	7,69		0,73			2,04		
CO ₂ %	2,68	6,04		0,57			1,59		
CaO (2) %	0,19	1,16		0,18			0,20		

CaO(1): legato alla frazione carbonata; CaO(2): legato alla frazione non carbonata.

è spiegabile tenendo presente la granulometria estremamente fine dell'originario materiale cineritico che ne ha consentito la completa argillificazione con allontanamento pressoché completo degli alcali.

L'impovertimento in potassio è di minore entità in quanto parte di quello originariamente presente entra a far parte del reticolo cristallino dell'illite di

neoformazione. È da sottolineare che anche nella « pietra verde » è segnalata la presenza di Radiolari che viene messa in relazione con un ambiente ricco in silice dovuto a eruzioni vulcaniche.

- Una composizione chimica sensibilmente diversa e apparentemente più basica caratterizza il campione FU 2 (livello « pre-Bonarelli » più basso nella serie) nel quale sono assenti sia i carbonati che i Radiolari. Tenendo presente che composizioni chimiche del tutto analoghe si riscontrano anche nella « pietra verde » di Livinallongo, si deve considerare, accanto alla possibilità che il livello rappresenti un precedente episodio vulcanico più basico, che la sua particolare

TABELLA 4

Composizione chimica principale dei campioni della sezione del Furlo

	FU 2	FU 4	FU 5a	FU 5b	FU 6	FU 7	FU 8	FU 9	FU 10	FU 11
SiO ₂ %	50,95	6,68	36,78	55,21	62,86	78,81	83,46	41,15	67,68	75,82
Al ₂ O ₃ %	18,66	2,48	12,78	3,17	3,87	9,52	7,79	4,58	2,80	9,55
CaO %	4,21	49,62	0,97	22,73	16,78	0,13	0,20	29,94	0,26	0,36
MgO %	2,43	0,26	1,51	0,27	0,20	0,84	0,80	0,57	0,21	1,71
Na ₂ O %	0,31	0,39	0,36	0,50	0,35	0,27	0,17	0,18	0,12	0,30
K ₂ O %	4,06	0,34	1,82	0,36	0,24	1,47	1,00	0,46	0,39	2,41
Fe ₂ O ₃ %	5,40	0,87	4,94	0,49	0,29	1,96	1,25	0,79	1,41	2,23
TiO ₂ %	0,40	0,11	0,30	0,13	0,09	0,25	0,16	0,10	0,10	0,31
P ₂ O ₅ %	0,43	0,15	0,80	0,16	0,10	0,14	0,10	0,16	0,12	0,18
H ₂ O ⁻ %	2,34	0,11	1,93	0,27	-	1,55	0,78	0,25	2,22	1,21
L.O.I.	10,30	38,91	28,64	16,46	14,93	4,84	3,74	21,54	24,49	5,70
TOTALE	99,49	99,92	99,83	99,75	99,71	99,78	99,45	99,72	99,80	99,78
Mn ppm	165	304	197	193	108	53	20	510	73	86
CaCO ₃ %		83,70	16,98	36,63	29,18			46,83		
CaO(1) %		46,84	9,50	20,49	16,33			26,29		
CO ₂ %		36,86	7,48	16,14	12,85			20,54		
CaO(2) %		2,78	0,47	2,24	0,45			3,65		

composizione può essere imputata alla trasformazione del materiale vetroso in montmorillonite non accompagnata dall'arricchimento in silice dovuto ai Radiolari.

- Come accennato in precedenza, i carbonati, rappresentati dalla sola calcite, sono generalmente assenti o in tenori trascurabili nel « Bonarelli » vero e proprio (a eccezione dei campioni BU 1 e FU 9), mentre nei « pre-Bonarelli » rappresentano un costituente essenziale e primario, a parte il livello stratigraficamente più basso (FU 2) che ne è del tutto privo.

Lo studio della frazione carbonata (tabella 6), eseguito sui campioni della sezione del Furlo, evidenzia innanzitutto tenori piuttosto elevati in Sr e generalmente bassi in Mn: tale caratteristica, in accordo con quanto indicato da altri Autori (MANETTI & TURI, 1973; BENCINI & TURI, 1974; VEIZER

TABELLA 5

Composizione chimica dei campioni ricalcolata a 100 per eliminazione dei carbonati e della sostanza organica

	B 84a	BU 1	BU 3a	BU 3b	BU 3c	BU 4b	BU 5b	BU 6a	BU 6b	BU 7	BU 8
SiO ₂ %	87,56	89,91	85,64	89,86	83,21	89,83	85,86	91,34	90,50	91,29	87,54
Al ₂ O ₃ %	3,25	4,56	8,10	4,87	11,27	5,04	7,63	3,58	6,28	4,55	4,38
CaO %	1,72	2,20	1,01	1,16	0,38	0,61	1,19	1,53	0,21	1,42	1,37
MgO %	0,61	0,67	1,45	0,80	1,19	0,95	0,96	0,33	0,77	0,83	1,19
Na ₂ O %	0,64	0,26	0,29	0,27	0,25	0,24	0,34	0,28	0,20	0,15	0,24
K ₂ O %	1,49	0,75	1,28	0,85	0,86	1,21	0,52	0,66	0,59	0,75	1,32
Fe ₂ O ₃ %	4,71	1,32	1,88	1,72	2,33	2,02	2,19	0,96	1,10	0,98	3,58
TiO ₂ %	-	0,08	0,12	0,12	0,31	0,22	0,15	0,07	0,11	0,09	0,14
P ₂ O ₅ %	-	0,22	0,21	0,33	0,19	0,21	0,46	1,38	0,16	0,09	0,80
MnO %	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

	BU 9	BU 10	BU 12	BU 13a	FU 4	FU 5a	FU 5b	FU 6	FU 9	FU 10
SiO ₂ %	83,51	67,41	74,04	93,80	47,38	61,53	88,26	91,82	79,59	92,58
Al ₂ O ₃ %	9,15	19,30	8,26	3,56	17,59	21,38	5,07	5,65	8,86	3,83
CaO %	0,21	1,21	1,00	0,22	19,72	0,79	3,58	0,66	7,06	0,36
MgO %	3,00	3,02	8,38	0,55	1,84	2,53	0,43	0,29	1,10	0,29
Na ₂ O %	0,23	0,36	0,25	0,16	2,77	0,60	0,80	0,51	0,35	0,16
K ₂ O %	1,32	2,87	0,95	0,60	2,41	3,04	0,58	0,35	0,89	0,53
Fe ₂ O ₃ %	2,21	5,18	6,29	0,83	6,17	8,26	0,78	0,42	1,53	1,93
TiO ₂ %	0,20	0,40	0,27	0,13	0,78	0,50	0,21	0,13	0,19	0,14
P ₂ O ₅ %	0,16	0,23	0,54	0,14	1,06	1,34	0,26	0,15	0,31	0,16
MnO %	0,01	0,02	0,02	0,01	0,28	0,03	0,03	0,02	0,12	0,02

TABELLA 6

Composizione chimica della frazione carbonata, sul totale del campione e ricalcolata a 100, e residuo insolubile di alcuni campioni della sezione del Furlo

CAMP.	R.I. %	Ca %	Mg %	Fe ppm	Mn ppm	Sr ppm
FU 4	13,98	33,48	0,14	3.856	275	985
FU 5a	77,61	6,79	0,44	15.894	102	755
FU 5b	62,39	14,65	0,11	2.108	133	695
FU 6	67,84	11,67	0,08	980	117	615
FU 9	48,81	20,30	0,25	1.887	506	1.220

FU 4		39,58	0,16	4.559	325	1.164
FU 5a		33,79	2,19	79.114	508	3.760
FU 5b		39,38	0,29	5.667	385	1.871
FU 6		39,50	0,27	3.318	396	2.082
FU 9		39,18	0,48	3.642	977	2.355

TABELLA 7

Composizione chimica totale, e contenuto di Ni, Y e Zn, delle frazioni granulometriche inferiori a 10 micron di alcuni campioni delle tre sezioni

	82a	85a	BU 5a	BU 6	BU 7	BU 9	BU 13a	BU 14	FU 7	FU 8	FU 11
SiO ₂ %	80,64	78,11	67,98	76,36	72,23	60,85	77,87	63,77	73,39	75,95	69,01
Al ₂ O ₃ %	5,32	7,75	10,33	6,30	5,89	15,32	5,25	13,65	11,05	9,41	13,42
CaO %	0,32	0,64	5,86	2,88	6,95	1,05	1,48	1,07	0,34	0,54	0,60
MgO %	0,81	1,48	1,29	1,14	1,37	4,27	0,86	2,17	1,35	1,24	1,87
Na ₂ O %	0,24	0,41	0,31	0,45	0,44	0,52	0,45	0,71	0,35	0,40	0,29
K ₂ O %	0,79	2,12	1,56	1,28	0,87	2,98	0,86	3,21	2,58	2,51	2,93
Fe ₂ O ₃ %	2,33	2,24	3,06	2,21	1,64	4,56	1,30	4,25	2,64	2,77	3,43
TiO ₂ %	0,22	0,44	0,20	0,35	0,27	0,28	0,14	0,60	0,22	0,29	0,41
P ₂ O ₅ %	0,50	0,09	1,23	0,16	0,11	0,11	0,09	0,22	0,13	0,11	0,15
SO ₂ %	3,05	2,10	3,00	1,95	2,80	3,62	2,20	2,65	2,72	3,20	2,80
H ₂ O ⁻ %	1,81	1,90	1,33	1,64	1,71	1,84	1,77	1,48	1,43	1,64	1,70
L.O.I.	4,06	2,63	3,64	5,06	5,69	4,59	7,62	5,66	3,67	1,95	3,25
TOTALE	100,09	99,91	99,79	99,97	99,97	99,99	99,89	99,44	99,87	100,01	99,86
Mn ppm	91	69	80	64	77	104	53	84	46	51	93
Nb ppm	2	4	3	5	4	4	3	5	2	6	2
Y ppm	35	28	25	37	44	30	38	32	27	42	28
Zr ppm	210	210	165	235	350	180	285	165	190	250	210
Zr/TiO ₂	0,10	0,05	0,08	0,07	0,13	0,06	0,20	0,03	0,09	0,09	0,05
Nb/Y	0,06	0,14	0,12	0,14	0,09	0,13	0,08	0,16	0,07	0,14	0,07

& DEMOVIČ, 1974), è indicativa di ambienti di piattaforma carbonatica, facies subcotidali-intercotidali. I tenori di Sr e quelli bassi in Mg indicano, inoltre, che il sedimento non è stato interessato da fenomeni diagenetici, precoci o tardivi, di un qualche rilievo.

Gli elevati tenori in Fe, soprattutto nel campione FU 5a, dove sono accompagnati da una quantità relativamente alta di Mg chiaramente non compatibile con i tenori in Sr, sono imputabili a un parziale attacco della frazione non carbonatica (TURI & BENCINI, 1975).

Per quanto osservato sul chimismo totale dei campioni, si è cercato di valutare l'effettiva composizione del materiale oggetto d'istudio escludendo l'apporto di silice dovuto ai Radiolari.

Tenendo presenti le dimensioni minime dei Radiolari, sono stati scelti alcuni campioni che presentavano caratteristiche idonee per una loro disaggregazione e caratterizzati da un campo di variabilità dei tenori in SiO₂ e in Al₂O₃ sufficientemente ampio per verificare l'eventuale correlazione fra tali ossidi.

L'analisi chimica è stata quindi effettuata sulla frazione inferiore a 10 micron e i relativi dati sono riportati nella tabella 7. È da segnalare che non è stata allontanata la frazione carbonatica presente in alcuni campioni (BU 6, BU 7 e BU 13a) essendo questa in tenori sufficientemente bassi da non influire sui dati.

Nel valutare i risultati analitici si deve tenere presente che la disaggregazione, che in molti casi ha richiesto un trattamento assai prolungato, può aver causato una parziale frantumazione dei Radiolari e quindi un loro non completo allontanamento.

Appare tuttavia evidente dalla tabella 7 la generale notevole riduzione della silice e la maggiore omogeneità composizionale dei campioni presi in considerazione. In particolare, si riscontra che la correlazione $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3$ diviene significativa ($r = 0,86$; $Q.C. > 99\%$) a differenza di quanto avveniva elaborando i dati relativi alle composizioni chimiche dei campioni totali.

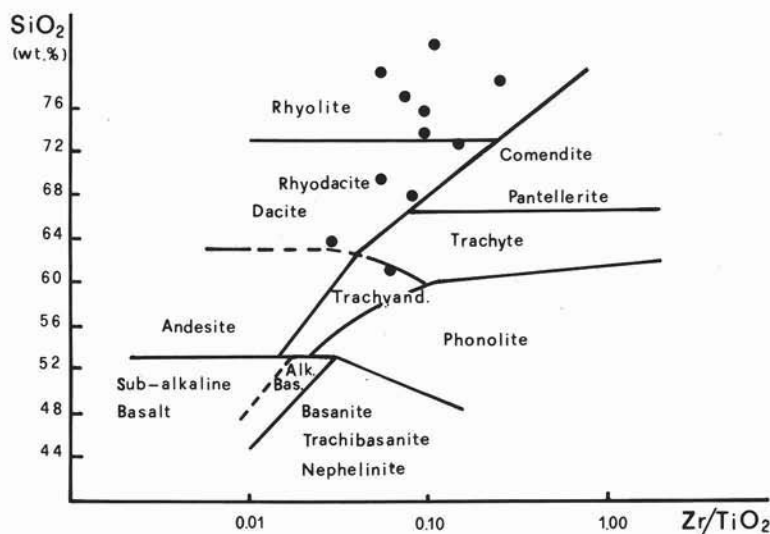


Fig. 16. — Diagramma $\text{SiO}_2\text{—Zr/TiO}_2$ (WINCHESTER & FLOYD, 1977), nel quale sono riportati i punti rappresentativi delle frazioni inferiori a 10 micron analizzate.

Risulta inoltre assai più evidente l'analogia con materiali vulcanoclastici del tipo della « pietra verde » ladinica già ricordata, pur tenendo presenti i bassissimi tenori in sodio del « Bonarelli » e degli altri livelli considerati.

È da segnalare il campione BU 5a nel quale la silice registra un lieve aumento imputabile sia all'allontanamento dell'apatite, denotato dalla diminuzione di P_2O_5 , sia, probabilmente, alla completa frantumazione dei Radiolari (peraltro non abbondanti) a causa del prolungato trattamento agli ultrasuoni.

Si può notare infine che i campioni sono costantemente caratterizzati da quantità piuttosto elevate di SO_2 in accordo con le osservazioni di carattere mineralogico precedentemente riportate.

L'indicazione forse più significativa circa la natura vulcanoclastica sia del « Bonarelli » che dei « pre-Bonarelli » è data dai tenori di alcuni elementi minori e in tracce (Ti, Zr, Nb e Y) considerati immobili durante i processi secondari

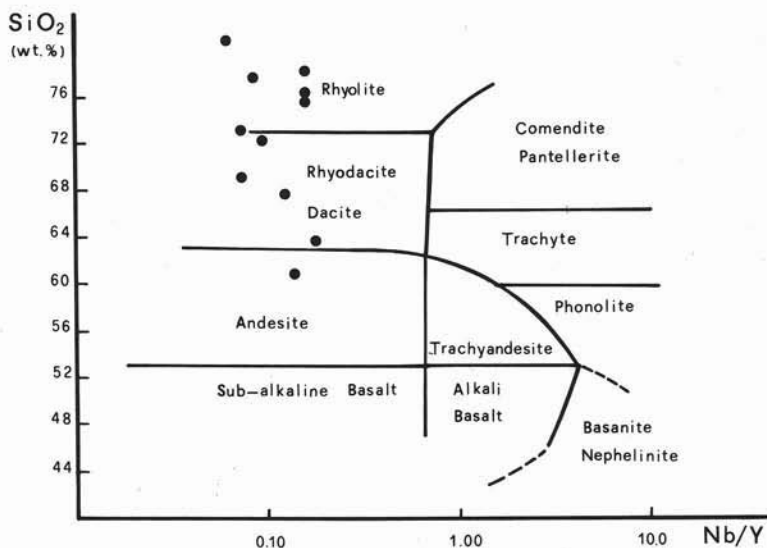


Fig. 17. — Diagramma SiO_2 -Nb/Y (WINCHESTER & FLOYD, 1977), nel quale sono riportati i punti rappresentativi delle frazioni inferiori a 10 micron analizzate.

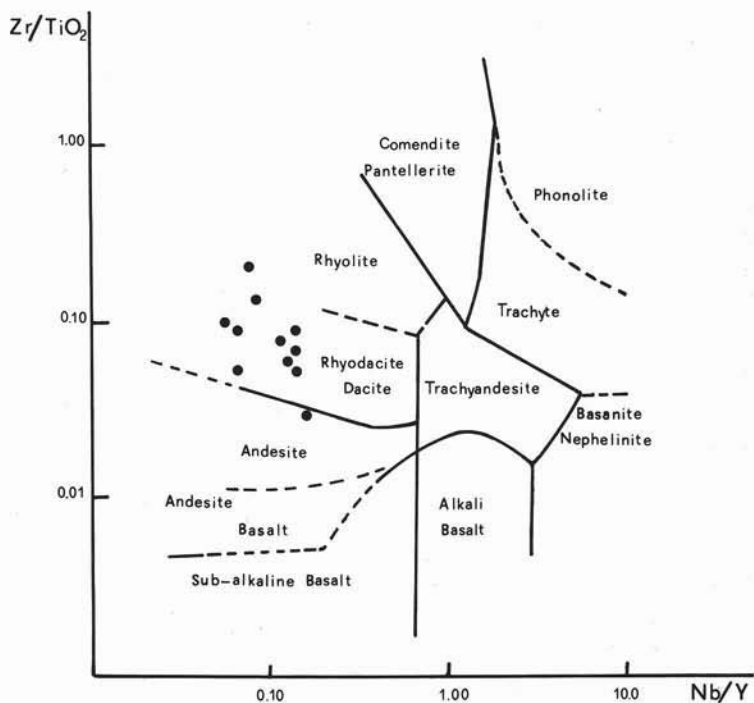


Fig. 18. — Diagramma Zr/TiO_2 -Nb/Y (WINCHESTER & FLOYD, 1977), nel quale sono riportati i punti rappresentativi delle frazioni inferiori a 10 micron analizzate.

e utilizzati nella classificazione di serie magmatiche e nella discriminazione tra differenziati (v. tabella 7).

Tali valori sono stati utilizzati per costruire i diagrammi $\text{SiO}_2\text{—Zr/TiO}_2$ (fig. 16), $\text{SiO}_2\text{—Nb/Y}$ (fig. 17) e $\text{Zr/TiO}_2\text{—Nb/Y}$ (fig. 18) proposti da WINCHESTER & FLOYD (1977).

Come si può osservare, i punti rappresentativi dei campioni presi in considerazione si collocano, nei primi due diagrammi, in un campo che si estende dalle rioliti fino al limite con le andesiti, data la variabilità ancora notevole dei tenori in silice.

Osservando che nel diagramma di fig. 18 la dispersione verticale si riduce tanto da restringere i punti praticamente nel campo delle daciti-riodaciti, si ha la conferma che la variabilità della silice è in buona parte imputabile a un certo « inquinamento » da Radiolari.

Considerazioni conclusive

Le considerazioni e i dati precedentemente riportati, valutati sia singolarmente che nel loro insieme, concordano nell'indicare una natura vulcanoclastica del materiale che forma tanto il « Bonarelli » che i « pre-Bonarelli », escluse ovviamente la componente organogena data dai Radiolari e quella carbonatica. Se si eccettuano i frammenti che sono stati interpretati come vetro vulcanico argillificato, non essendo riscontrabile nel sedimento una frazione granulometrica « grossolana » nella quale fosse possibile riconoscere componenti mineralogici primari di natura vulcanica, si deve ritenere che l'apporto vulcanoclastico è consistito in prodotti vetrosi essenzialmente cineritici.

I dati chimici, e in particolare quelli determinati sulla frazione inferiore a 10 micron per allontanare la maggior parte dei Radiolari, confermano l'apporto vulcanoclastico e i tenori medi in silice (attorno al 72 %), in allumina (attorno al 9,5 %) e la scarsità di elementi ferro-magnesiaci (media della somma $\text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ di circa il 4,4 %), di calcio (attorno al 2 %) e di manganese (mediamente 75 ppm) denotano un magmatismo di tipo acido.

I tenori medi di alcuni elementi minori e in tracce ($\text{TiO}_2 = 0,31\%$, $\text{Zr} = 222$ ppm, $\text{Nb} = 4$ ppm, $\text{Y} = 33$ ppm) e i loro rapporti, elaborati secondo quanto indicato da WINCHESTER & FLOYD (1977), concordano in modo significativo nell'indicare un carattere riodacitico di tale magmatismo.

L'ampia variabilità del chimismo dei sedimenti studiati e la costante loro povertà in alcali devono essere attribuite alla presenza dei Radiolari, alla mobilitazione e allontanamento di alcuni elementi, talora anche per il rimaneggiamento del materiale, alle variazioni chimico-fisiche dell'ambiente (più o meno asfittico e riducente) e al processo di argillificazione che ha interessato gli originari prodotti cineritici.

D'altra parte la presenza dei Radiolari è a sua volta legata alla ricchezza in silice dell'ambiente determinata dalla sedimentazione di materiale vulcanico acido;

le condizioni asfittiche, periodicamente createsi durante la deposizione del « Bonarelli », ben si accordano con una veloce sedimentazione di materiale a granulometria finissima e praticamente impermeabile.

Le caratteristiche sedimentologiche e strutturali evidenziano inoltre che i vari straterelli si sono depositati nell'ambiente di sedimentazione in seguito a un modesto rimaneggiamento; la granulometria del materiale cineritico ha consentito la sua completa trasformazione in montmorillonite che ha subito successivamente una parziale trasformazione in illite idrata attraverso lo strato misto.

La composizione chimica della frazione carbonatica, caratterizzata da alti tenori in Sr (media attorno alle 2250 ppm) e relativamente bassi in Mn (media attorno alle 500 ppm), indica che la sedimentazione è avvenuta in ambiente di piattaforma carbonatica dove si verificava frequentemente un modesto rimaneggiamento del materiale clastico.

Queste conclusioni contrastano con il quadro di una sedimentazione tipicamente pelagica e profonda e, d'altra parte, portano un contributo all'ipotesi che nelle modalità di sedimentazione della Scaglia siano presenti, in larga misura, meccanismi di tipo torbido. Ciò comporta evidentemente conseguenze anche sulle stime delle velocità di sedimentazione e quindi in definitiva anche sull'età della Scaglia.

Esula dagli scopi della presente ricerca indicare le aree di provenienza del materiale vulcanoclastico e individuare l'ubicazione degli originari apparati vulcanici; del resto una corretta interpretazione paleogeografica potrà ottenersi solo al termine degli studi che sono in corso sulla Scaglia Bianca e sulla Scaglia Rossa.

L'identificazione di un rilevante episodio vulcanico, del resto preceduto da altri minori, va oltre il problema specifico della Scaglia, potendo essere interpretato come una prima testimonianza di attività tettonica precoce connessa all'orogènesi appenninica.

Per concludere, si può osservare che le indagini in corso sulle due formazioni della Scaglia sembrano indicare la presenza di livelli vulcanoclastici anche nella Scaglia Rossa e in particolare in un intervallo stratigrafico prossimo o comprendente quello che viene definito come limite fra Cretacico e Terziario.

Ringraziamenti. — Gli autori desiderano esprimere la loro gratitudine al Prof. P. MALESANI e al Prof. F.C. WEZEL per la lettura critica del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ L. W., ALVAREZ W., ASARO F., MICHEL H. V. (1980) - *Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction*. Science, 208, 4448, 1095-1108.
- ALVAREZ W., ARTHUR M. A., FISCHER A. G., LOWRIE W., NAPOLEONE G., PREMOLI SILVA I., ROGGENTHEN W. M. (1977) - *Upper Cretaceous-Paleocene magnetic stratigraphy at Gubbio, Italy. V. Type section for the Late Cretaceous-Paleocene geomagnetic reversal time scale*. Geol. Soc. Amer. Bull., 88, 383-389.

- ARTHUR M. A., FISCHER A. G. (1977) - *Upper Cretaceous-Paleocene magnetic stratigraphy at Gubbio, Italy. I. Lithostratigraphy and sedimentology*. Geol. Soc. Amer. Bull., 88, 367-371.
- AUDLEY-CHARLES M. G. (1965) - *Some aspects of the chemistry of Cretaceous siliceous sedimentary rocks from eastern Timor*. Geoch. Cosmoch. Acta, 29, 1175-1192.
- BALENZANO F., DI PIERRO M. (1981) - *Natrojarosite nelle argille varicolori della Lucania. Aspetti mineralogici e genetici*. Rend. Soc. It. Min. Petr., 37, I, pag. 323.
- BARNABA P. F. (1958) - *Geologia dei monti di Gubbio*. Boll. Soc. Geol. It., 77, III, 39-70.
- BASSO R., MAZZUCOTELLI A. (1975) - *Schema di analisi con metodi rapidi dei principali elementi di rocce e minerali*. Per. Min., 44, I, 5-40.
- BENCINI A., TURI A. (1974) - *Mn distribution in the Mesozoic carbonate rocks from Lima Valley, Northern Apennines*. Jour. Sed. Petr., 44, III, 774-782.
- BONARELLI G. (1891) - *Il territorio di Gubbio - Notizie geologiche*. Roma.
- BONARELLI G. (1901) - *Descrizione geologica dell'Umbria Centrale*. Concorso Premio Molon, Roma.
- CALLEGARI E. (1965) - *Primi risultati dello studio mineralogico-petrografico sulla «Pietra verde» della Regione Dolomitica*. Rend. Soc. Min. It., 21, 41-46.
- CALLEGARI E., MONESSE A. (1964) - *Il chimismo della «pietra verde» degli strati di Livinal-longo (Dolomiti). Contributo allo studio petrogenetico della «pietra verde» ladina*. Studi Trentini di Sc. Nat., 41, I, 45-71.
- CIPRIANI C. (1958) - *Ricerche sui minerali costituenti le arenarie: II) Sulla composizione mineralogica della frazione argillosa di alcune arenarie «Macigno»*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., 65, 165-220.
- CIPRIANI C., MALESANI P. (1972) - *Composizione mineralogica delle frazioni pelitiche delle formazioni del Macigno e Marnoso-arenacea (Appennino settentrionale)*. Mem. Ist. Geol. Min., Univ. Parma, 29, 1-25.
- GRATZIU C., SCHIAFFINO L. (1967) - *Ricerche mineralogiche e petrografiche sulla «Scaglia Umbra», Serie dei monti di Gubbio (Appennino centrale)*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., 74, 502-540.
- LOTTI B. (1926) - *Descrizione geologica dell'Umbria*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 21.
- LOWRIE W., ALVAREZ W. (1975) - *Paleomagnetic evidence for rotation of the Italian Peninsula*. Journ. Geophys. Res., 80, 1579-1592.
- LOWRIE W., ALVAREZ W. (1977 a) - *Upper Cretaceous-Paleocene magnetic stratigraphy at Gubbio, Italy. III. Upper Cretaceous magnetic stratigraphy*. Geol. Soc. Amer. Bull., 88, 374-377.
- LOWRIE W., ALVAREZ W. (1977 b) - *Paleomagnetic studies of the Scaglia Rossa limestone in Umbria*. Mem. Soc. Geol. It., 15, 41-50.
- LOWRIE W., ALVAREZ W. (1977 c) - *Late Cretaceous geomagnetic polarity sequence: detailed rock palaeomagnetic studies of the Scaglia Rossa limestone at Gubbio, Italy*. Geophys. J. R. Astr. Soc., 51, 561-581.
- LUTERBACHER H. P., PREMOLI SILVA I. (1962) - *Note préliminaire sur une révision du profile de Gubbio, Italie*. Riv. It. Paleont., 68, 253-288.
- LUTERBACHER H. P., PREMOLI SILVA I. (1964) - *Biostratigrafia del limite Cretaceo-Terziario nell'Appennino Centrale*. Riv. It. Paleont., 70, 67-128.
- MANETTI P., TURI A. (1973) - *Ricerche chimiche sulle rocce carbonatiche mesozoiche della Val di Lima (Lucca)*. Per. Min., 42, I-II, 295-325.
- MAZZUCOTELLI A., FRACHE R., DADONE A., BAFFI F. (1977) - *Ion-exchange separation and spectrophotometric determination of trace amounts of Niobium in silicate rocks*. Analyst, 102, 825-830.
- MAZZUCOTELLI A., FRACHE R., DADONE A., BAFFI F. (1978 a) - *Determination of trace amounts of zirconium in silicates by cation exchange chromatography and spectrophotometry with xylenol orange*. Talanta, 24, XI, 690-692.
- MAZZUCOTELLI A., FRACHE R., DADONE A., BAFFI F. (1978 b) - *Spectrophotometric determination of trace amounts of yttrium in silicates after cation exchange separation with DL-2-Hydroxybutyric acid*. Analytica Chimica Acta, 99, 365-369.
- MENCHETTI S., SABELLI C. (1976) - *Crystal chemistry of the alunite series: crystal structure refinement of alunite and synthetic jarosite*. N. Jb. Miner. Mh., 9, 406-417.

- PRINCIPI P. (1922) - *Il Miocene nella regione compresa tra i rilievi mesozoici eugubini e la Catena del Catria*. Rend. R. Acc. Lincei.
- RENZ O. (1936) - *Stratigraphische und mikropalaentologische Untersuchung der Scaglia (Obere Kreide-Tertiär) im Zentralen Apennin*. Ecl. Geol. Helv., 29, 1-149.
- RENZ O. (1951) - *Ricerche stratigrafiche e micropaleontologiche sulla Scaglia dell'Appennino Centrale*. Mem. Descr. Carta d'It., Vol. XXIX.
- ROBINSON P. (1980) - *Determination of calcium, magnesium, manganese, strontium, sodium and iron in the carbonate fraction of limestones and dolomites*. Chem. Geol., 28, 135-146.
- SELLI R. (1954) - *Il bacino del Metauro*. Fano.
- SFALANGA M., VANNUCCI S. (1975) - *Ricerche mineralogico-petrografiche sui sedimenti neo-autoctoni: II - I sedimenti pliocenici, e i suoli da essi derivati, in due unità a diversa morfologia della Val d'Era (Toscana)*. Annali Ist. Sper. Studio e Difesa Suolo, Firenze, 6, 111-168.
- STEINBERG M., DESPRAIRES A., FOGELGESANG J.F., MARTIN A., CARON D., BLANCHET R. (1977) - *Radiolarites et sédiments hypersilicieux océaniques: une comparaison*. Sedimentology, 24, 547-563.
- TURI A., BENCINI A. (1975) - *Distribuzione del Fe nelle rocce carbonatiche della Val di Lima (Appennino settentrionale)*. Boll. Soc. Geol. It., 94, 2217-2225.
- VANDENBERG J., KLOOTWIJK C.T., WONDERS T. (1975) - *Implications for the rotational movement of Italy from current palaeomagnetic research in the Umbrian sequence, Northern Apennines*. In: «Progress in Geodynamics», Kon. Ned. Ak. Wet., Amsterdam, 165-175.
- VANDENBERG J., KLOOTWIJK C.T., WONDERS A.A.H. (1978) - *Late Mesozoic and Cenozoic movements of the Italian Peninsula: further paleomagnetic data from the Umbrian sequence*. G.S.A. Bull., 89, 133-150.
- VANNUCCI S., VANNUCCI R., MAZZUCOTELLI A., FRANCHI R. (1979) - *Risultati preliminari dello studio petrografico e geochimico della Scaglia Bianca e della Scaglia Rossa della sezione del Bottaccione (Gubbio)*. Ateneo Parmense, Acta Nat., 15, 261-266.
- VANNUCCI S., VANNUCCI R., FRANCHI R. (1981) - *Clay mineralogy and geochemistry of recent sediments from Pantelleria and Malta troughs*. In: F.C. WEZEL (editor), *Sedimentary basins of Mediterranean margins*, Tecnoprint, Bologna, 1981, 325-338.
- VEIZER J., DEMOVIČ R. (1974) - *Strontium as a tool in facies analysis*. J. Sed. Petr., 44, I, 93-115.
- WEZEL F.C. (1979) - *The Scaglia Rossa Formation of Central Italy: results and problems emerging from a regional study*. Ateneo Parmense, Acta Nat., 15, 243-259.
- WINCHESTER J.A., FLOYD P.A. (1977) - *Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements*. Chem. Geol., 20, 325-343.
- WONDERS A.A.H. (1979) - *Middle and Late Cretaceous pelagic sediments of the Umbrian Sequence in the Central Apennines*. I. Proceedings Kon. Ned. Ak. Wet., 82, II, 171-188.