

NICOLA CIPRIANI *, PIERGIORGIO MALESANI *, SERGIO VANNUCCI **

RICERCHE MINERALOGICO-PETROGRAFICHE
SUI SEDIMENTI NEOAUTOCTONI:
I. - IL VALDARNO SUPERIORE

ABSTRACT. — Field observation as well as mineralogical and petrographic investigation on samples coming from neautoctonous series of the Valdarno basin allowed to trace the evolution of this basin, the sedimentation environments and to recognize the origin of the clasts.

A first limited closed basin (upper Pliocene) was recognized, corresponding to a swampy-fluvial environment named the « Castelnuovo dei Sabbioni » basin. The origin of clasts was from the Ligurian-Emilian complexes for the « Argille di Meleto » formation and from the « Macigno del Mugello » formation for the overlying « Sabbie di S. Donato in Avane » formation.

A weak tectonic activity caused the widening of the basin which acquired a true lacustrine character with a clast origin essentially from the « Macigno del Mugello » formation. Since this formation probably was not outcropping extensively in this area it is inferred that the origin was from the Mugello area. Accordingly the hydrography was in the opposite direction in respect to the present one.

After the basin was filled with sediments, terraces of several orders developed and the hydrography acquired its present direction.

The terrace deposits came from the reworking of sediments previously deposited both in the Casentino and in the Valdarno basins.

Between the third and the fourth order of terraces an aeolian sedimentation of reworked material occurred. The origin of this material was both from lacustrine and from fluvial terrace deposits.

RIASSUNTO. — Lo studio mineralogico-petrografico di un elevato numero di campioni prelevati nella serie neautoctona del bacino del Valdarno superiore, correlata con le osservazioni di campagna, ha consentito di seguire l'evoluzione del bacino, di ricostruire gli ambienti di sedimentazione e di individuare le provenienze dei materiali clastici.

In particolare, è stato riconosciuto (Pliocene superiore) un primo bacino circoscritto e chiuso, a carattere fluvio-palustre, denominato di Castelnuovo dei Sabbioni, con esclusivo apporto dai Complessi Ligure-Emiliani per la parte stratigraficamente inferiore (Argille di Meleto), e dalla formazione del Macigno del Mugello per quella superiore (Sabbie di S. Donato in Avane).

A una blanda attività tettonica corrisponde l'espansione del bacino neautoctono che diviene dichiaratamente lacustre; la provenienza del materiale clastico è dovuta essenzialmente al disfacimento del Macigno del Mugello. Data la distribuzione areale di questa formazione nell'arco appenninico, si deve presumere che l'apporto giungesse prevalentemente dal bacino del Mugello. Ne consegue che il reticolo idrografico era inverso rispetto a quello attuale.

Alla fase di colmamento del bacino lacustre segue la formazione di vari ordini di terrazzi e lo stabilirsi dell'attuale reticolo idrografico.

I depositi terrazzati provengono dal rimaneggiamento dei precedenti cicli sedimentari sia dello stesso bacino che di quello casentino.

Fra il terzo e il quarto ordine di terrazzi si verifica una fase di sedimentazione eolica di materiale rimaneggiato proveniente in massima parte dalla formazione del ciclo lacustre e dai depositi fluviali terrazzati precedenti.

* Istituto di Mineralogia, Petrografia e Geochimica dell'Università di Firenze. ** C.N.R. - Centro di Studio per la Mineralogia e la Geochimica dei sedimenti - Via Lamarmora, 4 - 50121 Firenze.

Premessa

Una prima serie di note, dal titolo «Ricerche sulle arenarie», iniziata nel 1958 e riguardante varie formazioni prevalentemente clastiche, comprende le ricerche mineralogiche, per la loro caratterizzazione e la loro distribuzione areale nell'arco appenninico, e petrologiche, per l'identificazione delle «rocce madri» e delle aree di provenienza del materiale clastico.

Questa seconda serie vuole essere il logico completamento delle precedenti ricerche. Dato che lo studio delle formazioni clastiche appenniniche pre- e sin-orogiche ha consentito di evidenziare le caratteristiche peculiari di ognuna di esse, è possibile, sulla base dei risultati raggiunti, intraprendere le indagini sui sedimenti dei bacini neautoctoni sin- e post-orogenici per definire le aree di provenienza e gli eventi di evoluzione morfologica successivi alla fase di deposizione.

È da notare che alcune di queste formazioni, o bacini di sedimentazione, sono già stati oggetto di indagini già pubblicate; in particolare questi precedenti sono costituiti dallo studio di alcune formazioni mioceniche arenacee o calcareo-arenacee sedimentate sopra i Complessi Ligure-Emiliani, affioranti in placche isolate nella Toscana e nella Romagna (nota pubblicata nella serie «Ricerche sulle arenarie») e da ricerche sui depositi della conca casentinese.

Queste due ricerche possono essere considerate, anche se a posteriori, delle «indagini campione» nel filone che si intende attualmente sviluppare con questa nuova serie.

Infatti la nota riguardante i sedimenti neautoctoni, o eventualmente para-autoctoni, nel caso si ammetta un loro limitato spostamento col sovrascorrere della coltre alloctona, mette in evidenza le caratteristiche peculiari dei vari affioramenti tramite le quali si è risaliti alla presumibile provenienza del materiale, anche se le conoscenze di carattere litologico e geologico-strutturale non erano così ampie come allo stato attuale. A questo proposito, ad esempio, basti osservare che in tutti i sedimenti miocenici presi in considerazione si era riscontrata la prevalenza del feldspato potassico (sanidino e ortoclasio) sul plagioclasio, fatto che non trova riscontro nelle formazioni clastiche appenniniche precedentemente studiate. Ciò portava a ipotizzare un apporto da parte di rocce effusive acide, confermato dallo studio dei frammenti di rocce presenti in tali sedimenti, delle quali tuttavia non era noto alcun affioramento.

Sulla base di queste considerazioni la serie «Ricerche sulle arenarie» è stata conclusa per approfondire le indagini di campagna e lo studio sulle formazioni mioceniche e post-mioceniche, sin- e post-orogiche.

Come primo risultato di queste nuove ricerche è da segnalare il rinvenimento di livelli piroclastici, il cui studio è in corso, a composizione rio-latitica, entro sedimenti lagunari del Miocene medio-superiore del bacino della Val d'Elsa, che, date le caratteristiche granulometriche dei prodotti vulcanici (da medie a grossolane), sono da ritenersi dei materiali originariamente di una certa diffusione nell'arco

appenninico e di provenienza, se non locale, assai prossima all'area di affioramento.

Tale rinvenimento conduce a una piú corretta interpretazione dei dati mineralogico-petrografici emersi dalle indagini sulle formazioni neoautoctone o paraautoctone mioceniche della Toscana e della Romagna.

L'altra « indagine campione », condotta sui sedimenti del bacino casentino si è dimostrata piú soddisfacente ai fini della determinazione delle « rocce madri » del materiale clastico in quanto non si sono riscontrati altri apporti se non quelli delle formazioni geologiche già studiate e tutt'oggi affioranti, sia pure con una diversa distribuzione sia qualitativa che quantitativa, nel bacino considerato.

Sulla base di queste esperienze, oggetto di note già pubblicate, e di indagini inedite condotte in quest'arco di tempo (1967-1976), ci proponiamo di iniziare questa nuova serie di ricerche sui sedimenti neoautoctoni che possono comprendere, di volta in volta, studi di carattere generale su un singolo bacino, o di carattere puntuale su un problema di notevole interesse mineralogico-petrografico.

Questa prima nota, che costituisce l'avvio della serie precedentemente prospettata, concerne lo studio dei sedimenti neoautoctoni del bacino del Valdarno superiore, dalla fase tettonica distensiva che ha creato il paleobacino, fino alle fasi di terrazzamento dei materiali fluvio-lacustri.

Introduzione

Il Valdarno superiore, che costituisce un tipico bacino intermontano lungo l'alto corso del fiume Arno, è stato oggetto di numerosi studi a carattere geologico (COCCHI, 1867; RISTORI, 1886; LOTTI, 1897 e 1910; SESTINI, 1928, 1929, 1936 e 1939; MERLA e ABBATE, 1967), paleontologico (GAUDIN e STROZZI, 1859; COCCHI, 1867; WEITHOFER, 1893; LEONARDI, 1947; AZZAROLI, 1947, 1952 e 1964; MERLA, 1949; BERZI, 1965; MARCUCCI, 1970), minerario (STÖHR, 1870; CAPACCI, 1890; GRATTAROLA, 1901; DE CASTRO e PILOTTI, 1933; GEMINA, 1962) e geomorfologico (MANCINI e ROMAGNOLI, 1965) ai quali si rimanda per una piú approfondita conoscenza dell'area.

Ai fini della presente ricerca si ritiene però indispensabile accennare alla situazione geologica dei depositi neoautoctoni, che sono lo specifico oggetto dello studio, quale risulta dalle piú recenti indagini (SESTINI, MERLA e ABBATE).

Nel Plio-pleistocene, in seguito a un'attività orogenica « attenuata » secondo un modello a horst e graben, si sarebbe formato, e successivamente ampliato, il bacino lacustre del Valdarno superiore, delimitato dalle dorsali del Pratomagno, verso Nord, e del Chianti, verso Sud, costituite in prevalenza dalla formazione del Macigno del Chianti. Piccoli lembi dei Complessi Ligure-Emiliani sono presenti, soprattutto al margine Sud, rappresentati dal Complesso Caotico, dalla serie di M. Senario e dalla serie Formazione di Sillano-Alberese.

I sedimenti neoautoctoni vengono suddivisi in un primo ciclo lacustre, del Pliocene superiore e a flora di clima caldo, denominato di Castelnuovo dei Sabbioni, costituito dalle Argille di Meleto con livelli di lignite xiloide (Pla) e dalle sovra-

stanti Sabbie di S. Donato in Avane (Ps), cui segue in discordanza il ciclo pleistocenico inferiore fluvio-lacustre, rappresentato dal Gruppo di Montevarchi e comprendente, dal basso verso l'alto, le Argille di Figline (Vag), le Sabbie del Tasso (Vs) e i ciottolami e sabbie della fase finale di colmamento (Vcg). In condizioni subaeree si sarebbero successivamente deposte, nel Pleistocene superiore, le Sabbie di Bucine (sB).

Nella piana di Arezzo vengono distinte, in eteropia con le Sabbie di Bucine, le Argille di Quarata e i sovrastanti ciottolami di Maspino.

Ai cicli sedimentari lacustri e fluvio-lacustri, e in particolare al complesso sabbioso-conglomeratico, segue, secondo Mancini e Romagnoli, un deposito di materiale colico, che viene riferito al würmiano, di natura loessica, posto alla sommità del pianalto lacustre.

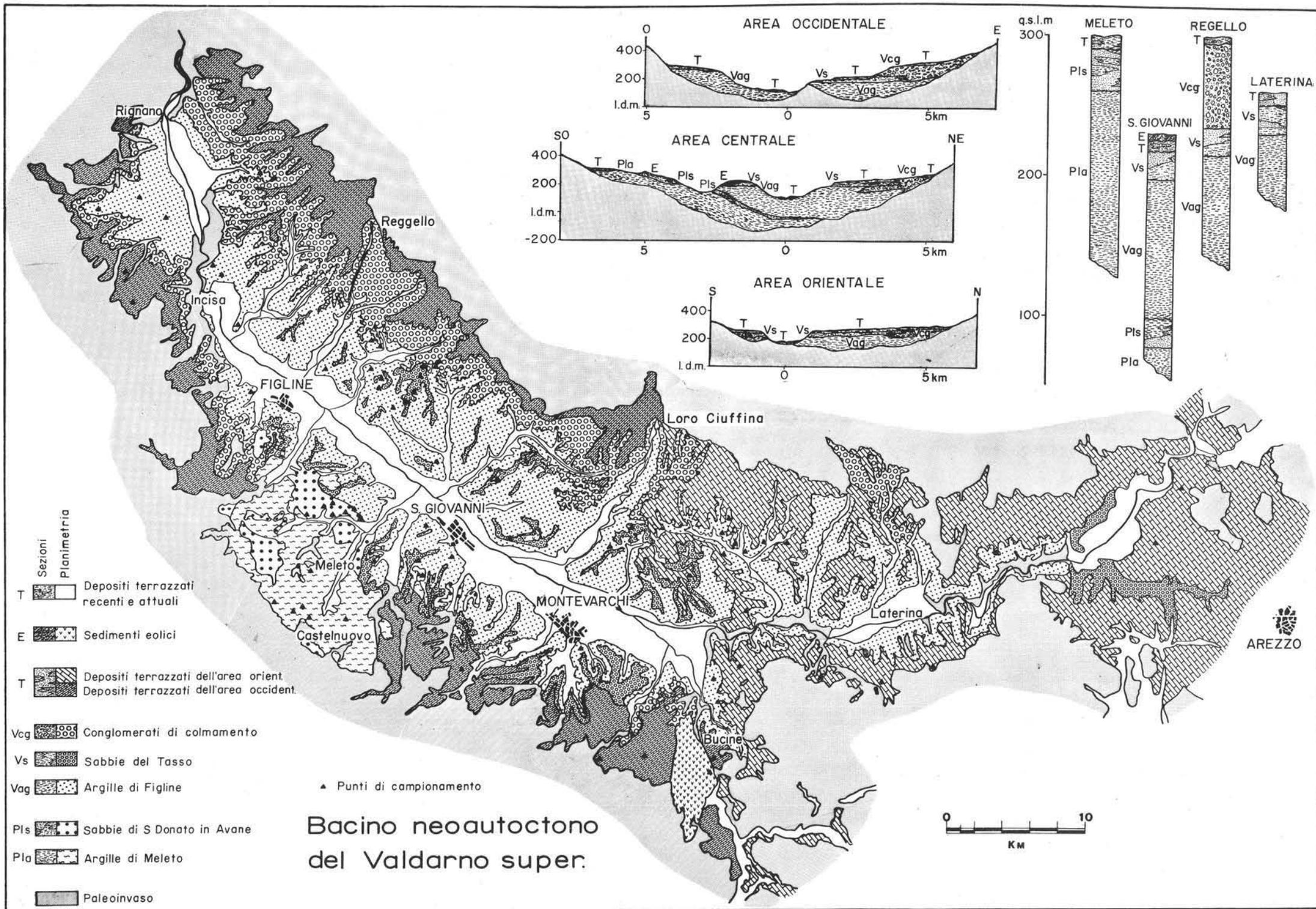
I medesimi Autori individuano una situazione geomorfologica caratterizzata da cinque ordini di terrazzi che, partendo dall'attuale corso dell'Arno, possono essere così elencati:

- alluvioni attuali lungo il corso dell'Arno;
- piccolo terrazzo con alluvioni antiche, riferito all'Alluvium antico, rinvenibile climatico, caratterizzato da una modesta evoluzione dei suoli;
- esteso terrazzo riferito al Würm in quanto testimonia un importante ciclo talora lungo alcuni affluenti, specie di destra, dell'Arno;
- unità geomorfologica, altimetricamente prossima al pianalto, di età non definita;
- il pianalto che sembra di formazione non contemporanea nelle varie zone, in quanto sul versante chiantigiano potrebbe essere più antico rispetto a quello del versante del Pratomagno a tettonica più recente e probabilmente interessato da fenomeni periglaciali durante le due ultime glaciazioni. Sul versante del Pratomagno un'assise di ciottolame, sul pianalto, è stata attribuita al Riss.

Sotto un profilo idrologico, il SESTINI rileva che nel primo ciclo lacustre, riferito al Pliocene superiore, il deflusso delle acque ha un andamento verso la Val di Chiana e il lago ha come immissario la Sieve. Dal Pleistocene inferiore (Villafranchiano) — per lo meno dai ciottolami della fase di colmamento — si verifica l'inversione della direzione del reticolo idrografico e dal Valdarno superiore, e di conseguenza dal Mugello, le acque defluiscono nell'« Arno fiorentino ».

La presente ricerca si propone di integrare, mediante indagini di carattere mineralogico e mineralogico-petrografico, le conoscenze geologiche, in particolare per quanto concerne la provenienza e le modalità di sedimentazione dei materiali clastici e la ricostruzione paleogeografica del bacino nelle sue varie fasi evolutive.

A tale fine è stato eseguito un campionamento di dettaglio tenendo presenti i vari cicli di sedimentazione descritti dagli Autori citati e le distinzioni litologiche riportate dalla Carta Geologica d'Italia (Foglio 114 - Arezzo - 1967). Inoltre, du-



rante il campionamento, particolare cura è stata posta nel prelevare secondo un criterio statistico i campioni in modo da rappresentare le variazioni litologiche riscontrate sul terreno nell'ambito di ciascuna formazione.

Il campionamento è stato eseguito per serie comprendenti ampi intervalli stratigrafici, tenendo presente in ogni caso, per ciascun campione, la posizione nella serie; le località di prelievo sono indicate nella carta geo-litologica di Tavola 1. Per ovvii motivi non sono stati presi in considerazione i ciottolami di chiusura del ciclo fluvio-lacustre costituiti, nella quasi totalità, da elementi molto alterati di arenarie del Macigno e le alluvioni attuali dell'Arno e dei suoi maggiori affluenti.

Tenendo presente la suddivisione nei cicli sedimentari precedentemente descritti, il campionamento può essere così schematizzato:

- nei depositi lacustri di Castelnuovo dei Sabbioni sono stati prelevati un totale di 38 campioni;
- nei depositi fluvio-lacustri di Montevarchi e in quelli di Arezzo, un totale di 99 campioni;
- nelle alluvioni terrazzate e nei sedimenti eolici, un totale di 32 campioni.

In tutti i campioni è stato effettuato il dosaggio dei principali costituenti mineralogici mediante diffrattometria a raggi X con il metodo dello standard interno (CIPRIANI, 1958; CIPRIANI e MALESANI, 1963) e l'identificazione, sempre per via diffrattometrica, dei minerali argillosi presenti nella frazione inferiore a 2 micron, dei quali è stata pure effettuata una stima (CIPRIANI e MALESANI, 1972).

Sulla base dei risultati di queste analisi sono stati effettuati dei raggruppamenti « formazionali » e, successivamente, su campioni particolarmente significativi le indagini sono proseguite, mediante tecniche a raggi X, per investigare la natura dei fillosilicati non argillosi (CIPRIANI, SASSI e VITERBO BASSANI, 1968; JOBSTRAIBIZER e MALESANI, 1973), e il tenore in anortite dei plagioclasti (SMITH, 1956).

Sono state inoltre condotte analisi granulometriche (MALESANI, 1966) per definire, tramite lo studio della distribuzione di frequenza, le modalità e l'ambiente di sedimentazione dei vari materiali (GUAZZONE e MALESANI, 1970) appartenenti ai diversi cicli sedimentari, e indagini ottiche per il riconoscimento petrografico dei clasti.

Risultati sperimentali

Le osservazioni geologiche, stratigrafiche e sedimentologiche, integrate dalle indagini mineralogiche condotte sull'insieme dei campioni raccolti, sia per la definizione della composizione mineralogica principale che per l'identificazione delle associazioni dei minerali argillosi presenti, hanno consentito di distinguere, in ordine cronologico, i seguenti cicli di sedimentazione:

- I fase lacustre, corrispondente geograficamente al bacino lacustre di Castelnuovo dei Sabbioni;
- II fase lacustre, che nelle sue linee generali corrisponde al bacino lacustre di Montevarchi;

TABELLA 1
Composizione mineralogica media principale

Ciclo	Formazione	litologia	quarzo		feldspato potassico		plagioclasii		calcite		fillosilicati		
			litotipi %	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
1° ciclo lacustre	argille di Meleto (Pla)	argille	100	11,0	6,2	1,0	1,5	4,1	3,1	-	-	83,9	9,8
	sabbie di S. Donato in Avane (Pls)	argille	45	23,0	10,2	1,5	0,8	7,1	3,2	0,7	1,6	67,7	9,2
		sabbie	55	48,8	5,2	6,9	3,5	12,1	3,6	0,2	0,7	32,0	7,4
2° ciclo lacustre	argille di Figline (Vag)	argille	100	17,0	6,1	2,2	2,0	7,0	3,2	0,5	1,3	73,3	9,4
	sabbie del Tasso (Vs)	silt	60	29,1	3,0	5,5	2,7	11,5	3,9	1,8	6,0	52,1	3,1
		sabbie	40	43,7	2,7	5,4	3,1	15,9	2,3	-	-	35,0	2,0
fasi di terrazzamento	area orientale	silt	20	22,5	7,1	3,5	2,1	7,5	3,5	15,0	3,5	51,5	4,9
		sabbie	80	41,5	7,4	5,5	1,9	14,0	2,4	16,2	4,4	22,8	9,7
	area occidentale	silt	80	33,8	5,8	4,6	2,9	12,7	3,2	-	-	48,9	3,6
		sabbie	20	40,0	5,4	7,5	3,5	17,5	3,5	-	-	35,0	7,1
	fase eolica	sabbie	100	58,4	9,3	5,0	2,5	13,3	4,1	-	-	23,3	8,8

— depositi terrazzati, che presentano un diverso apporto di materiale clastico nella zona orientale rispetto a quella occidentale;

— sedimenti colici.

Nelle Tabelle 1 e 2 vengono riportati, secondo i cicli di sedimentazione precedentemente elencati, i valori percentuali medi relativi alla frequenza dei tipi litologici e, rispettivamente, alla composizione mineralogica principale e all'associazione dei minerali argillosi.

Le attribuzioni litologiche sono il risultato delle indagini mineralogiche e delle analisi granulometriche eseguite sui campioni e le indicazioni formazionali, riportate nelle Tabelle, sono le stesse di quelle della Carta Geologica ufficiale; si deve tuttavia sottolineare che il rilievo geolitologico (Tavola 1), quale risulta dalle osservazioni di campagna e dalle indagini mineralogico-petrografiche di laboratorio, se ne discosta notevolmente sia sotto il profilo areale che sotto quello delle conclusioni stratigrafiche che ne derivano.

La composizione mineralogica principale qualitativa è pressochè costante per la presenza del quarzo, plagioclasio, fillosilicati. Il feldspato potassico e la calcite sono saltuariamente presenti. Sotto un profilo quantitativo, invece, si riscontrano notevoli differenze che si ripercuotono sui litotipi presenti nell'ambito di ciascun ciclo. In particolare, la composizione mineralogica principale, sia delle argille che degli altri tipi litologici, è sensibilmente diversa fra il primo e il secondo ciclo lacustri. A titolo di esempio vengono riportati i diagrammi di frequenza dei tenori in fillosilicati (Figura 1), tramite i quali si può osservare che le argille del I ciclo lacustre

(Argille di Meleto, « Pla ») rappresentano circa il 65 % dell'intero spessore della serie campionabile, con un tenore in fillosilicati intorno all'85 %, mentre quelle del II ciclo (Argille di Figline, « Vag »), corrispondenti a circa l'80 % della serie campionabile, presentano un tenore in fillosilicati intorno al 75 %.

Inoltre, per il primo ciclo lacustre, si hanno in continuità con le argille le cosiddette « Sabbie di S. Donato in Avane » (« Pls »), costituite da alternanze, in proporzioni equivalenti in senso sia stratigrafico che areale, di sabbie e argille, le prime con un tenore in fillosilicati attorno al 30 % e di quarzo attorno al 50 %, le seconde rispettivamente del 65 % e del 25 %. Queste argille risultano quindi, in base alla composizione, notevolmente diverse da quelle della formazione sottostante.

Per quanto concerne il II ciclo lacustre, le sabbie del Tasso (« Vs ») sono caratterizzate da una prevalenza di silt, di circa il doppio, rispetto alle sabbie vere e proprie. I silt hanno un tenore di fillosilicati attorno al 50 % e di quarzo attorno al 30 %, mentre le sabbie rispettivamente del 35-40 % e del 40 %. Pertanto quest'ultimo tipo litologico risulta al limite con i silt.

Le differenze composizionali sono ancora più evidenti se si considerano le associazioni dei minerali argillosi caratteristiche dei due cicli di sedimentazione.

Nelle Argille di Meleto (I ciclo) è sempre presente la montmorillonite e un minerale a strati misti, illite-montmorillonite, che costituiscono all'incirca un terzo dell'associazione, mentre le Argille di Figline (II ciclo) sono caratterizzate dall'associazione clorite-vermi-

TABELLA 2
Composizione mineralogica media
della frazione argillosa

Ciclo	Formazione	litologia	montmorillonite		illite-montmorillonite		vermiculite		illite-vermiculite		clorite-vermiculite		illite		caolinite			
			X	σ	X	σ	X	σ	X	σ	X	σ	X	σ	X	σ		
1° ciclo lacustre	argille di Meleto (Pla)	argille 100	23,3	5,6	12,3	2,9	-	-	-	-	22,9	5,3	27,9	6,4	9,8	3,1	3,8	6,6
	sabbie di S. Donato in Avane (Pls)	argille 45	-	-	-	-	22,5	9,3	13,4	2,6	15,0	12,6	25,8	5,8	15,8	4,9	7,5	6,9
		sabbie 55	-	-	-	-	29,2	9,2	12,5	2,7	3,3	8,2	39,2	13,2	14,2	5,8	1,6	4,1
2° ciclo lacustre	argille di Figline (Vag)	argille 100	-	-	-	-	10,9	13,6	16,1	7,3	2,7	8,2	46,6	14,2	22,9	7,5	0,8	3,3
	sabbie del Tasso (Vs)	silt 60	-	-	-	-	17,3	16,9	12,8	4,1	3,6	6,7	47,7	20,2	16,8	4,0	1,8	4,6
		sabbie 40	-	-	-	-	25,0	21,4	9,4	9,5	-	-	47,5	13,3	18,1	8,0	-	-
fase di terrazzamento	area orientale	silt 20	-	-	-	-	20,0	7,1	18,3	10,6	8,3	17,7	31,7	10,6	21,7	3,5	-	-
		sabbie 80	-	-	-	-	16,2	9,5	12,3	5,5	4,2	11,6	41,5	8,4	25,8	7,1	-	-
	area occidentale	silt 80	-	-	-	-	25,6	13,5	18,7	3,5	2,5	7,1	28,8	15,1	24,4	10,5	-	-
	sabbie 20	-	-	-	-	37,5	3,5	17,5	3,5	-	-	32,5	3,5	12,5	3,5	-	-	
	fase eolica	sabbie 100	-	-	-	-	12,5	4,2	15,0	4,5	-	-	50,0	3,2	22,5	2,7	-	-

culite, illite-vermiculite e vermiculite che rappresenta circa il 70% del totale.

Queste ultime, nell'area prospiciente gli affioramenti del I ciclo lacustre, presentano una composizione leggermente diversa per la presenza anche di montmorillonite e di illite-montmorillonite, in quantità però notevolmente inferiore rispetto a quelle delle Argille di Meleto. È quindi da ipotizzare un'erosione delle argille del I ciclo che si sono sedimentate localmente miscelandosi con il materiale clastico prevalente a diversa composizione.

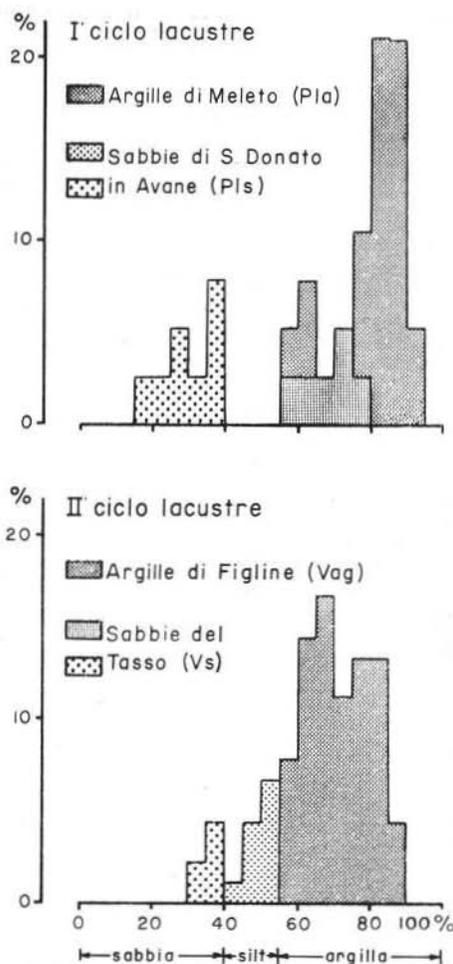


Fig. 2. — Diagrammi di frequenza del tenore in fillosilicati.

e queste ultime, a loro volta, dipendono dalla granulometria e dal tenore in fillosilicati e minerali argillosi presenti, come verrà discusso più dettagliatamente in seguito.

Le composizioni mineralogiche riscontrate nelle varie formazioni dei due cicli lacustri sono state integrate dalle indagini di carattere petrografico, eseguite sulla frazione psammitica, per lo studio dei frammenti di roccia che possono meglio chiarire le provenienze del materiale clastico.

Nelle Argille di Meleto i frammenti di roccia sono riferibili a litotipi argillitici

Inoltre, nella formazione delle Sabbie di S. Donato in Avane, nelle quali la composizione dei due litotipi — argille e sabbie — si mantiene qualitativamente uguale a quelle delle formazioni del II ciclo, le argille si distinguono dalle sabbie per i tenori, relativamente elevati, di clorite. Rispetto alle Argille di Figline esse presentano più elevati tenori di clorite e di vermiculite, e più bassi di clorite-vermiculite.

Non esistono invece, sempre sotto il profilo dei minerali argillosi, notevoli differenze fra le sabbie del I ciclo di sedimentazione e quelle presenti nella formazione delle Sabbie del Tasso appartenente al II ciclo, se si eccettua l'assenza della clorite nei litotipi a granulometria maggiore di quest'ultima formazione e della caolinite che del resto è sporadica in tutte le formazioni sottostanti.

Indubbiamente le variazioni quantitative riscontrate, a parità di associazione mineralogica, sono strettamente legate alle caratteristiche di permeabilità dei materiali,

del Complesso Caotico o dell'Indifferenziato e ne presentano la stessa composizione mineralogica.

Nelle formazioni sovrastanti, invece, si riscontra la pressochè totale assenza di frammenti di roccia. Le frazioni psammitiche sono costituite prevalentemente da granuli monomineralici e i pochi elementi policristallini sono riferibili a rocce metamorfiche di medio grado. Solo in determinate aree del bacino (zona di Incisa e di Figline), specie nell'ambito del II ciclo, si rinviene qualche frammento di calcare micritico, più o meno marnoso, attribuibili alla formazione dell'Alberese.

Per quanto concerne i depositi terrazzati, se si eccettuano le alluvioni attuali e recenti lungo il corso dell'Arno che, d'altra parte, non sono state interessate dal campionamento, le indagini mineralogico-petrografiche non hanno permesso di distinguere e di correlare i vari ordini di terrazzamento con i loro depositi, in quanto le composizioni mineralogiche, nell'ambito di aree assai estese, risultano sostanzialmente uniformi.

Le analisi consentono tuttavia di riconoscere due tipi di associazione mineralogica che individuano due aree, una orientale e una occidentale, separate dall'allineamento Loro Ciuffenna - Bucine.

Tutti i campioni prelevati in quella orientale presentano infatti tenori attorno al 15 % di calcite, minerale che è invece del tutto assente in quelli dell'area occidentale. Questa particolarità è dovuta alla presenza di numerosi frammenti di rocce carbonatiche, sotto forma di granuli, riferibili alle formazioni di La Verna, dell'Alberese e di Sillano.

A questa sostanziale differenza di composizione mineralogica e petrografica fa riscontro, in quella dei minerali argillosi, una corrispondente presenza e quasi totale assenza della clorite.

Anche i rapporti litologici — silt e sabbie — si invertono nelle due aree: in quella orientale predominano le sabbie, contrariamente a quanto si verifica nell'area occidentale.

Ai depositi dei tre ordini superiori di terrazzi, seguono i sedimenti eoliti riferiti al würmiano. Questi sono caratterizzati da sabbie medie e fini ben classate, con elementi a elevata sfericità e arrotondamento, che presentano una composizione mineralogica assai monotona; mediante il tenore in quarzo è attorno al 60 % e sono pressochè assenti granuli di frammenti di roccia.

Nella frazione granulometricamente argillosa, che è sempre nettamente subordinata, si riscontrano i più elevati tenori di clorite-vermiculite e l'assenza della clorite.

Considerazioni conclusive

Le osservazioni geologiche e stratigrafiche, correlate con le indagini mineralogiche e petrografiche, hanno portato alla redazione della carta geolitologica allegata (Tavola 1) che schematizza l'evoluzione del bacino di sedimentazione in base ai cicli precedentemente descritti.

Per chiarire meglio la situazione stratigrafica che ne risulta, sono state costruite quattro colonne stratigrafiche esplicative in corrispondenza di zone particolarmente significative. Gli spessori delle singole formazioni sono desunti dalle osservazioni di campagna e da sondaggi eseguiti, per altre finalità, nelle rispettive zone.

Vengono inoltre riportate, nella Tavola 1, tre sezioni geologiche esplicative, normali all'asse del bacino, che visualizzano i rapporti fra i vari cicli sedimentari

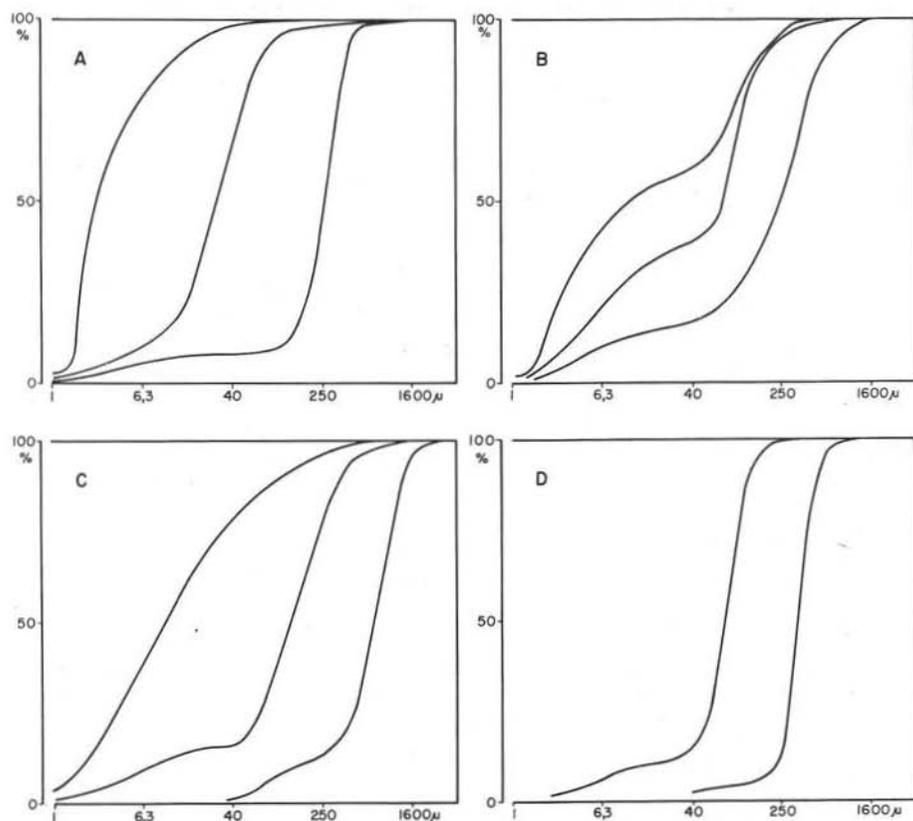


Fig. 3. — Curve cumulative granulometriche: A) argilla, silt e sabbia del I ciclo « lacustre »; B) silt, sabbia fine e media del II ciclo lacustre; C) silt, sabbia fine e media delle fasi di terrazzamento; D) sabbia fine e media della fase colica.

riconosciuti. S'intende che lo spessore dei sedimenti neoautoctoni e la morfologia del paleoinvaso sono stati ricostruiti sulla base delle osservazioni di campagna e dei dati forniti dai pochi sondaggi che hanno raggiunto le formazioni del substrato.

Dalla ricostruzione geologica che ne risulta si può osservare che il I ciclo lacustre comprendeva l'area centrale del bacino.

Le analisi granulometriche di numerosi campioni appartenenti alle due formazioni riconosciute dimostrano, tramite lo studio della distribuzione di frequenza, che l'ambiente di sedimentazione doveva essere fluvio-palustre. Infatti la distribu-

zione è di tipo unimodale (Figura 2 a) e la classazione, nell'ambito di uno stesso litotipo, risulta sufficientemente buona, caratteristiche che non sono compatibili con un ambiente lacustre.

Nella Tabella 3 sono riportate le caratteristiche granulometriche, e i relativi campi di variabilità, dei litotipi più frequentemente riscontrati nelle due formazioni del I ciclo e, per un confronto analitico, i dati relativi ai sedimenti dei successivi cicli.

A conferma dell'interpretazione di un ambiente fluvio-palustre si può portare il « sovraconsolidamento » delle argille di questo ciclo che è stato provocato indubbiamente da fenomeni di periodico essiccamento e non già da un costipamento del materiale a opera di sedimenti sovrastanti, come è dimostrato dall'elevatissima porosità di tali argille (SFALANGA, MALESANI e VANNUCCI, 1974).

Anche la flora, tipica di un clima caldo (MARCUCCI, 1970), ben si inquadra in una tale ricostruzione.

In seguito a una blanda attività tettonica, che ha innalzato il margine chiantigiano, si verifica l'espansione del bacino e inizia il II ciclo, caratterizzato dalla formazione delle Argille di Figline (« Vag ») che si conclude con la deposizione, probabilmente in ambiente non più lacustre specie nelle aree marginali del bacino, delle Sabbie del Tasso (« Vs »). È certo però che i cosiddetti « ciottolami e sabbie della fase di colmamento » risultano appartenere, date le loro caratteristiche sedimentologiche e petrografiche che verranno esposte più oltre, a depositi fluviali, specie di conoide.

Le analisi granulometriche confermano che le Argille di Figline e le Sabbie del Tasso, queste ultime limitatamente alla parte centrale del bacino, si sono sedimentate in ambiente lacustre (probabilmente in condizioni di clima temperato come testimoniano i reperti paleontologici) in quanto si presentano mal classate e con distribuzioni di frequenza sempre bimodali (Figura 2 b).

È da sottolineare che sotto un profilo granulometrico la formazione delle Argille di Figline è costituita da silt, mentre quella delle Sabbie del Tasso comprende sia dei silt che delle sabbie fini e medie.

È seguita la formazione di tre ordini di terrazzi sui quali si riscontrano depositi, arealmente estesi ma in genere di esiguo spessore, provenienti dal rimaneggiamento di materiali dei precedenti cicli sedimentari o miscelati con apporti esterni al bacino; in particolare si può ipotizzare il rimaneggiamento dei depositi di colmamento, o dei terrazzamenti più antichi, del bacino casentino, e successiva sedimentazione sui terrazzi del Valdarno superiore (area orientale), date le strette analogie di composizione petrografica degli elementi litoidi rinvenuti in questi depositi. Quest'osservazione era già stata esposta da SESTINI (1928, 1936) per spiegare l'evoluzione del reticolo idrografico del Valdarno superiore.

Le distribuzioni granulometriche di frequenza dei depositi terrazzati (Figura 2 c) confermano la deposizione in ambiente fluviale in quanto risultano bimodali con una « coda » nelle frazioni più fini e i sedimenti sono da moderatamente a ben classati, specie quelli a granulometria maggiore.

TABELLA 3

Caratteristiche e parametri granulometrici con i relativi campi di variabilità

Ciclo	litologia	Me (mediana) μ	Mz (media) ϕ	σ_1 (classazione)	Sk _I (simmetria)	K _G (acutezza)
1° ciclo lacustre (fluvio-palustre)	argille	2 : 8	9 : 7	1,2 : 2	-0,5 : -0,1	1,1 : 0,8
	silt - sabbie fini	20 : 40	5,5 : 5	1,3 : 1,7	+0,1 : +0,3	1,0 : 1,1
	sabbie medie	200 : 400	2,5 : 1,2	1,2 : 1,3	+0,4 : +0,5	2,0 : 3,0
2° ciclo lacustre	silt	10 : 20	7 : 6	2,6 : 2,7	-0,2 : 0,0	0,6 : 0,7
	sabbie fini	60 : 100	4 : 3	2,4 : 2,5	+0,5 : +0,6	0,7 : 0,8
	sabbie medie	200 : 300	2,5 : 1,5	2,2 : 2,4	+0,4 : +0,5	1,2 : 1,4
fasi di terrazzamento	argille - silt	6 : 20	7,5 : 5,5	2 : 2,4	-0,3 : -0,1	1,0 : 1,1
	sabbie fini e medie	80 : 300	3,5 : 1,7	2 : 1,2	+0,6 : +0,1	1,8 : 2,2
	sabbie grossolane	500 : 800	1 : 0,7	0,9 : 1,2	+0,3 : +0,2	1,2 : 2
fase eolica	sabbie fini e medie	50 : 400	4,5 : 1,3	0,8 : 1,2	-0,1 : +0,2	1,0 : 1,5

Alle fasi di terrazzamento è succeduta una sedimentazione eolica, talora costituita da veri e propri loess, impostata sugli ordini inferiori dei terrazzi.

Questi depositi sono rappresentati da sabbie fini e medie, ben classate, con una distribuzione di frequenza (Figura 2 d) unimodale, pressochè simmetrica e mesocurtica. Con ogni probabilità la « coda » di materiale granulometricamente fine è successiva alla deposizione del materiale sabbioso ed è imputabile all'infiltrazione di argilla in un mezzo altamente poroso e permeabile.

Si può ipotizzare che i sedimenti eolici siano riferibili al momento culminante dell'ultima glaciazione e che i più fini abbiano dato origine ai loess, mentre quelli più grossolani formassero delle dune lungo i maggiori corsi fluviali.

La situazione attuale è completata dalle alluvioni recenti e antiche dell'Arno e dei suoi maggiori affluenti.

Oltre a questa ricostruzione, i dati analitici, mineralogici e petrografici, permettono di individuare le provenienze dei materiali clastici che caratterizzano i depositi di ciascun ciclo sedimentario e di trarre delle conclusioni di carattere sia paleogeografico che paleoidrografico.

La composizione mineralogico-petrografica delle Argille di Meleto, appartenenti al I ciclo, che si scosta nettamente da quella di tutte le altre formazioni sovrastanti, è strettamente analoga a quella delle formazioni stratigraficamente inferiori (Complessi Caotico e Indifferenziato, formazione di Sillano) dei Complessi Ligure-Emiliani. Pertanto la provenienza del materiale deve farsi risalire a tali formazioni. È logico pertanto ipotizzare che i complessi Ligure-Emiliani, oggi rap-

presentati da lembi di modesta entità al margine del bacino pliocenico, dovevano coprire molto più estesamente il Macigno della dorsale chiantigiana. Dal denudamento della coltre alloctona si è originato il materiale clastico che ha dato luogo alle Argille di Meleto.

Le ultime fasi di colmamento di questo primo ciclo (Sabbie di S. Donato in Avane) presentano una provenienza del materiale clastico dal Macigno del Mugello (o formazione di Londa) del quale non restano oggi che piccoli affioramenti ai margini della dorsale chiantigiana. È da supporre però che il Macigno del Mugello non formasse affioramenti continui, sia sulla dorsale del Chianti che su quella del Pratomagno.

La provenienza dei materiali dei successivi cicli sedimentari (II ciclo lacustre) è costantemente data dal disfacimento del Macigno del Mugello, o (fasi di terrazzamento ed eolica) dal rimaneggiamento di depositi dei precedenti cicli.

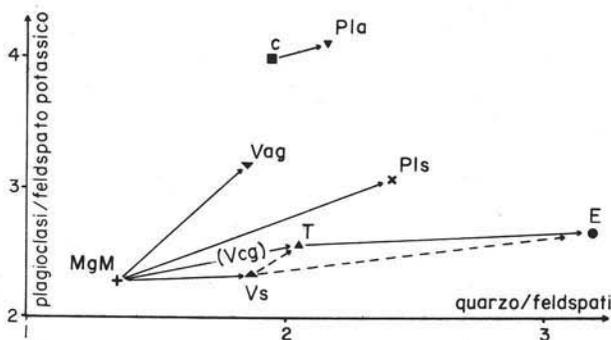


Fig. 4. — Diagramma indice di maturità - rapporto fra i feldspati, con le indicazioni relative alla provenienza del materiale. MgM = Macigno del Mugello, o di Londa, o Macigno B; c = Complesso Caotico, Indifferenziato e Formazione di Sillano; Pla = Argille di Meleto; Pls = Sabbie di S. Donato in Avane; Vag = Argille di Figline; Vs = Sabbie del Tasso; Vcg = Conglomerati di colmamento; T = Depositi terrazzati; E = Sedimenti colici.

Per maggior chiarezza, nei diagrammi di Figure 3 e 4, vengono riportate schematicamente le correlazioni fra le possibili « rocce madri » e le formazioni neoautoctone individuate, utilizzando i parametri più significativi ricavabili dalla composizione principale e dall'associazione mineralogica della frazione argillosa.

Le fasi di terrazzamento dell'area orientale, come è stato sottolineato in precedenza, presentano un apporto dato dalla miscelazione di materiali clastici rimaneggiati provenienti dal Macigno del Mugello e da formazioni dei complessi Ligure-Emiliani (Alberese e Sillano) e parautoctone (La Verna).

Altri casi particolari di apporti che risultano diversi da quelli precedentemente descritti sono presentati dalle Argille di Figline (II ciclo) nella zona compresa fra S. Giovanni e Figline Valdarno, le cui composizioni indicano un limitato apporto dalle Argille di Meleto (I ciclo), e dai ciottolami fluviali di chiusura del II ciclo

(« Vcg ») del versante del Pratomagno che, in base alle indagini mineralogiche di numerosi ciottoli, denotano una loro provenienza dalla formazione del Macigno del Chianti.

Ulteriori indicazioni sulle provenienze dei materiali clastici sono desumibili dalle composizioni medie dei plagioclasti e dai parametri strutturali delle miche chiare, che consentono di determinare il contenuto di frazione paragonitica e di femici, con i rapporti semiquantitativi fra paragonite e muscovite (Tabelle 4 e 5). Per confronto, sono indicati i corrispondenti valori medi relativi alle tre formazioni clastiche (Macigno del Chianti, Macigno del Mugello e Marnoso-arenacea) attualmente più rappresentati nell'arco appenninico e, in particolare, nell'area che comprende il Valdarno superiore.

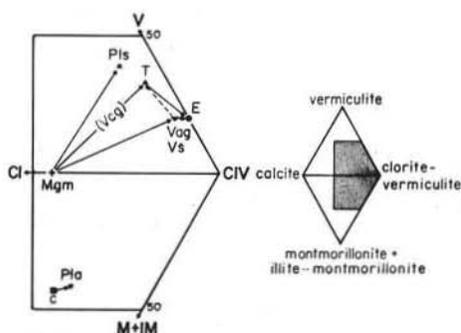


Fig. 5. — Diagramma clorite, vermiculite e montmorillonite + illite-montmorillonite, nel quale sono riportate le composizioni mineralogiche della frazione argillosa delle formazioni distinte e le indicazioni relative alla provenienza del materiale. c = Complesso Caotico, Indifferenziato e Formazione di Sillano; MgM = Macigno del Mugello o Londa, o Macigno B; Pla = Argille di Meleto; Pls = Sabbie di S. Donato in Avane; Vag = Argille di Figline; Vs = Sabbie del Tasso; Vcg = Conglomerati di colmamento; T = Depositi terrazzati; E = Sedimentie olici.

Nella Tabella 6 sono riportate le stime semiquantitative dei fillosilicati presenti nella frazione psammitica di tutte quelle formazioni che hanno un'evidente provenienza dalle formazioni flysciodi della serie Toscana, e, per confronto, i dati relativi a queste ultime.

Per quanto riguarda invece le Argille di Meleto, che d'altra parte tutte le indagini indicano provenire dai complessi Ligure-Emiliani in seguito a un loro modesto rimaneggiamento, l'associazione dei fillosilicati (muscovite = 90 % e clorite = 10 %), analoga a quella presentata da tali complessi, conferma quest'interpretazione.

Si può notare, rispetto alle « rocce madri », un aumento notevole della muscovite, che è da ritenersi prevalentemente indiretto per la diminuzione, o la scom-

Come si può osservare, le composizioni medie dei plagioclasti e i dati relativi alle miche chiare sono in perfetto accordo con quelli della formazione del Macigno del Mugello, se si eccettuano, specie per quanto riguarda il tenore in anortite dei plagioclasti, le Argille di Meleto.

Sulla base dei dati ottenuti sulla provenienza dei materiali clastici, sono state successivamente condotte altre indagini sui fillosilicati della frazione psammitica che, correlate con le associazioni di minerali argillosi riscontrate in quella argillosa, evidenziano i processi d'alterazione verificatisi durante il rimaneggiamento dei materiali originari e la loro sedimentazione negli ambienti e nelle condizioni climatiche già descritti.

TABELLA 4
Composizioni medie dei plagioclasti

	Formazione	An ₈	o
fase di 1° ciclo lacustre	argille di Meleto (Pla)	11,4	0,7
	sabbie di S. Donato in Avane (Pls)	8,4	0,8
fase di 2° ciclo lacustre	argille di Figline (Vag)	8,5	1,0
	sabbie del Tasso (Vs)	8,7	1,3
fase di terrazzamento	area orientale	7,5	1,4
	area occidentale	8,3	0,7
Fase eolica		8,1	1,6
Macigno del Chianti		4,7	1,2
Macigno del Mugello		7,4	2,8
Marnoso-arenacea		10,8	4,4

parsa, degli altri componenti che danno luogo a minerali argillosi. In particolare, si può ritenere che prevalentemente la clorite e la biotite si trasformino in clorite-vermiculite e successivamente in vermiculite, dando inoltre luogo a minerali argillosi, dello stesso tipo, nella frazione pelitica.

In quest'ultima le differenze quantitative riscontrate fra clorite e clorite-vermiculite (Figura 4) sarebbero quindi dovute all'intensità e alla durata del rimaneggiamento subito dal materiale clastico. Pertanto le Sabbie di S. Donato in Avane

TABELLA 5
Dati strutturali della muscovite e rapporto semiquantitativo fra la paragonite e la muscovite

	Formazione	1/2 c ₀ sen δ	b ₀	Na/Na + K	RM	paragonite/muscovite
fase di 1° ciclo lacustre	argille di Meleto (Pla)	9,9408	9,007	0,17	0,06	1 : 55
	sabbie di S. Donato in Avane (Pls)	9,9574	9,004	0,12	0,06	1 : 30
fase di 2° ciclo lacustre	argille di Figline (Vag)	9,9385	9,007	0,15	0,08	1 : 35
	sabbie del Tasso (Vs)	9,9353	9,004	0,17	0,07	1 : 30
fase di terrazzamento	area orientale	9,9568	9,008	0,12	0,06	1 : 20
	area occidentale	9,9554	9,013	0,06	0,10	1 : 25
fase eolica		9,9438	9,001	0,19	0,04	1 : 70
Macigno del Chianti		9,9365	9,029	0,04	0,13	1 : 20
Macigno del Mugello	campioni senza dolomite	9,9345	9,010	0,18	0,07	1 : 25
	campioni con dolomite	9,9410	8,981	0,23	0,02	1 : 40
Marnoso-arenacea		9,9440	8,986	0,25	-	1 : 60

risulterebbero, sotto il profilo mineralogico, più rimaneggiate delle Sabbie del Tasso e dei sedimenti terrazzati originatisi da queste ultime.

Quest'interpretazione è avvalorata anche dai rapporti riscontrati fra i feldspati e dall'indice di maturità (Figura 3).

Per quanto concerne invece i sedimenti della fase eolica, tenendo presenti le « rocce madri », si può osservare nella frazione pelitica una tendenza a un'inversione, fra vermiculite e clorite-vermiculite, che può essere considerata sinsedimentaria e

TABELLA 6
Tenori medi di fillosilicati nella frazione psammitica

	Formazione	muscovite	vermiculite	clorite	clorite- vermiculite	biotite
1° ciclo lacustre	sabbie di S. Donato in Avane (Pls)	90	tr	5	5	-
2° ciclo lacustre	argille di Figline (Vag)	85	5	10	5	tr
	sabbie del Tasso (Vs)	75	tr	15	10	-
fase di terrazzamento	area orientale	80	5	10	5	-
	area occidentale	90	5	5	tr	-
Fase eolica		80	5	10	5	-
Macigno del Chianti		45	-	45	-	10
Macigno del Mugello		50	-	30	-	20
Marnoso-arenacea		50	-	20	-	30

legata alle condizioni paleoclimatiche; oppure l'arricchimento di clorite-vermiculite potrebbe essere conseguente a fenomeni post-sedimentari, quali l'infiltrazione di materiali argillosi ricchi in questo minerale a strati misti.

Concludendo, in base ai dati della letteratura e alle considerazioni esposte si può ricostruire la seguente evoluzione del bacino neoautoctono del Valdarno superiore:

- Formazione, nel Pliocene superiore, di un bacino circoscritto e chiuso a carattere fluvio-palustre, con esclusivo apporto di materiale clastico di pertinenza al suo bacino idrografico.
- Formazione del più ampio bacino lacustre del Valdarno, da Rignano sull'Arno alla pianura d'Arezzo, con derivazione del materiale clastico dal disfacimento del Macigno del Mugello; con ogni probabilità tuttavia, data la distribuzione areale di questa formazione nell'arco appenninico, si deve presumere che l'apporto giungesse prevalentemente dal bacino del Mugello, mentre la formazione del Macigno del Chianti, estesamente affiorante nel bacino idrografico del Valdarno superiore, non sembra aver contribuito in modo apprezzabile all'apporto del materiale clastico. Si può infine escludere una provenienza dal Casentino in quanto i sedimenti eteropici di questo bacino derivano dai Complessi Ligure-Emiliani (MALESANI, 1970).

Risulta pertanto anche per questa via la ricostruzione idrologica secondo la quale la Sieve si immetteva nel bacino lacustre del Valdarno superiore, e, collegandosi con l'«Arno casentino» nella piana d'Arezzo proseguiva nella Val di Chiana.

- Fasi di terrazzamento degli ordini superiori con l'inversione di tutto il reticolo idrografico secondo l'attuale situazione. Infatti si riscontra un'uniformità dei depositi terrazzati, dal conoide dell'« Arno casentinese » nella piana d'Arezzo fino all'allineamento Loro Ciuffenna - Bucine.
Le differenze di composizione riscontrate tra questi sedimenti e quelli analoghi dell'area occidentale, può essere dovuta a una diminuzione dell'energia di trasporto in corrispondenza di tale allineamento, imputabile ai numerosi affioramenti delle formazioni del substrato pre-neoautoctono. A sostegno di quest'ipotesi si può osservare che lo spessore dei depositi terrazzati dell'area orientale diminuisce progressivamente dalla piana d'Arezzo fino al predetto allineamento; inoltre, nell'area orientale, sono presenti estesi depositi fluviali sui terrazzi morfologici, mentre in quella occidentale il terrazzamento è prevalentemente d'erosione con sedimenti terrazzati, di un certo spessore, solo nelle fasce pedemontane.
- Ai tre ordini superiori di terrazzi è seguita una fase di sedimentazione eolica con provenienza e rimaneggiamento prevalentemente del materiale delle formazioni delle Sabbie del Tasso e dai depositi fluviali terrazzati.
- Chiude l'evoluzione geo-morfologica del bacino la realizzazione di due ordini di terrazzi lungo l'Arno e i suoi affluenti maggiori.

BIBLIOGRAFIA

- AZZAROLI A. (1947) - *Revisione della fauna dei terreni fluvio-lacustri del Valdarno superiore. III. I cervi fossili della Toscana con particolare riguardo alle specie villafranchiane.* Paleontogr. Italica, 43, Pisa.
- AZZAROLI A. (1952) - *Revisione della fauna dei terreni fluvio-lacustri del Valdarno superiore. V. Filogenesi e biologia di Sus strozzi e Sus minor.* Paleontogr. Italica, 48, Pisa.
- AZZAROLI A. (1964) - *The Villafranchian Horses of the Upper Valdarno.* Paleontogr. Italica, 59, Pisa.
- BERZI A. (1965) - *L'orso di Gaville nel Valdarno superiore.* Paleontogr. Italica, 60, Pisa.
- CAPACCI C. (1890) - *Studi sulle ligniti.* Enciclopedia delle Arti e delle Industrie, 4, Torino.
- CIPRIANI C. (1958) - *Ricerche sui minerali costituenti le arenarie: II) Sulla composizione mineralogica della frazione sabbiosa di alcune arenarie « Macigno ».* Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Serie A, 65, 165-220, Pisa.
- CIPRIANI C., MALESANI P. (1972) - *Composizione mineralogica delle frazioni pelitiche delle formazioni del Macigno e Marnoso-arenacea (Appennino settentrionale).* Mem. Ist. Geol. e Min. Un. Padova, 24, 1-24.
- CIPRIANI C., SASSI F. P., VITERBO BASSANI C. (1968) - *La composizione delle niche chiare in rapporto con le costanti reticolari e con il grado metamorfico.* Rend. Soc. It. Min. e Petr., 24, 153-187, Milano.
- COCCHI I. (1867) - *L'uomo fossile nell'Italia centrale.* Mem. Soc. It. Sc. Nat., 2, Milano.
- DE CASTRO C., PILOTTI C. (1933) - *Giacimenti di lignite della Toscana.* Mem. Descr. Carta Geol. It., 23, Roma.
- GAUDIN CH., STROZZI C. (1859) - *Contribution à la flore fossile italienne, seconde mémoire, Val d'Arno, Zurigo.*

- GEMINA (1962) - *Ligniti e torbe dell'Italia continentale*. Roma.
- GRATTAROLA G. (1901) - *Prime note sulle ligniti del Valdarno*. Atti R. Acc. Geogr., 24, Firenze.
- GUAZZONE G., MALESANI P. (1970) - *Osservazioni sulla provenienza dei clasti e sulle modalità di sedimentazione della formazione Marnoso-arenacea tosco-romagnola*. Mem. Soc. Geol. It., 9, 107-120, Pisa.
- JOBSTRAIBIZER P., MALESANI P. (1973) - *I sedimenti dei fiumi veneti*. Mem. Soc. Geol. It., 12, 411-452, Pisa.
- LEONARDI P. (1947) - *Revisione della fauna dei terreni fluvio-lacustri del Valdarno superiore. II. L'ippopotamo del Valdarno*. Paleontogr. Italica, 46, Pisa.
- LOTTI B. (1897) - *Cenni geologici del Valdarno*. Boll. Soc. Geol. It., 28, Roma.
- LOTTI B. (1910) - *Descrizione geologica della Toscana*. Mem. Descr. Carta Geol. It., 13, Roma.
- MALESANI P. (1966) - *L'analisi granulometrica dei sedimenti psammitici e pelitici*. Boll. Soc. Geol. It., 85, 447-483, Roma.
- MALESANI P. (1966) - *L'impiego degli ultrasuoni nella preparazione di campioni per l'analisi granulometrica*. Boll. Soc. Geol. It., 85, 607-623, Roma.
- MALESANI P. (1968) - *Depositi lacustri del Casentino e del Valdarno superiore*. Rend. Soc. It. Min. e Petr., 24, 384, Milano.
- MALESANI P. (1970) - *Considerazioni petrografiche sui sedimenti della conca casentinese*. Guida alle escursioni del 65° Congresso Soc. Geol. It., Firenze.
- MALESANI P., MANETTI P. (1967) - *Ricerche sulle arenarie: XVII Osservazioni su alcune formazioni mioceniche della Toscana e della Romagna*. Boll. Soc. Geol. It., 86, 213-231, Roma.
- MANCINI F., ROMAGNOLI L. (1965) - *Primo contributo alla geomorfologia e alla paleopedologia del Valdarno superiore*. Boll. Soc. Geol. It., 84, 7, 169-185, Roma.
- MARCUCCI M. (1970) - *Notizie paleobotaniche sul Valdarno*. Guida alle escursioni del 65° Congresso Soc. Geol. It., Firenze.
- MERLA G. (1949) - *I Leptobos Rütim italiani*. Paleontogr. Italica, 43, Pisa.
- MERLA G., ABBATE E. (1967) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:100.000, Foglio 114 (Arezzo)*. Roma.
- RISTORI G. (1886) - *Considerazioni geologiche sul Valdarno superiore, sui dintorni di Arezzo e sulla Val di Chiana*. Mem. Soc. Tosc. Sc. Nat., Pisa.
- SESTINI A. (1928) - *Il bacino lacustre del Valdarno superiore*. Tesi Ist. Geol. Firenze.
- SESTINI A. (1929) - *Osservazioni geologiche sul Valdarno superiore*. Boll. Soc. Geol. It., 48, Roma.
- SESTINI A. (1936) - *Stratigrafia dei terreni fluvio-lacustri del Valdarno superiore*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., 45, Pisa.
- SESTINI A. (1939) - *Il lago pliocenico del Valdarno superiore e la sua evoluzione*. Mem. Valdarnesi, Serie IV, 2, Montevarchi.
- SFALANGA M., MALESANI P., VANNUCCI S. (1974) - *Relazioni fra caratteristiche mineralogiche e parametri fisici delle argille. Alcune considerazioni sulla stabilità dei versanti*. Ann. Ist. Sper. Studio e Difesa del Suolo, 5, 229-254, Firenze.
- SMITH J. V. (1956) - *The powder patterns and lattice parameters of plagioclase feldspars: I) The soda rich plagioclase*. Miner. Mag., 31, 47.
- STÖHR E. (1870) - *Intorno ai depositi di lignite che si trovano in Val d'Arno e intorno alla loro posizione geologica*. Annuario Soc. Naturalisti di Modena, 5.
- WEITHOFER A. (1893) - *Proboscidiani fossili di Valdarno in Toscana*. Mem. per serv. Descr. Carta Geol. d'It., Firenze.