

A. CERRINA FERONI (*), P. MARTINELLI (**), N. PERILLI (**)

LA FASE TETTONICA DEL PLIOCENE INFERIORE NEL SETTORE NORD ORIENTALE DELLE COLLINE LIVORNESI IN TOSCANA

Riassunto — Nel settore nord-orientale delle Colline Livornesi, in Toscana, la successione messiniano-pliocenica è scomposta in due cicli sedimentari da una discontinuità interpretabile come una discordanza stratigrafica, a basso angolo, senza emersione.

La superficie di discordanza, che in base ai dati biostratigrafici va collocata nella zona a *G. puncticulata*-*G. margaritae*, sutura un sistema di faglie trascorrenti coniugate generate da una compressione (suborizzontale, di direzione NE-SW) espressa anche a scala mesostrutturale.

Questa fase deformativa del Pliocene inferiore trova riscontro, in altri settori (bassa Val di Cecina, dintorni di Casciana Terme), nella giacitura discordante, localmente trasgressiva, dei livelli a *G. puncticulata*-*G. margaritae* ed è in buon accordo con i risultati di studi strutturali condotti in tempi recenti in Toscana meridionale.

Abstract — *The Lower Pliocene tectonic phase in north-eastern Colline Livornesi (Tuscany).* In north-eastern Colline Livornesi area (Tuscany) the Messinian-Pliocenic sequence is divided in two sedimentary cycles by a discontinuity which may be regarded as a low angle stratigraphic unconformity, without emersion.

According to the biostratigraphic data the surface of disconformity can be placed in the *G. puncticulata*-*G. margaritae* zone. This surface sutured a system of conjugate transcurrent faults generated by a compression (σ_1 subhorizontal of NE-SW direction). Such a system is also evident at the mesostrucutural scale.

This Lower Pliocene deformative phase can be observed in other neighbouring areas (e.g. lower Val di Cecina, Casciana Terme area), as unconformable, locally transgressive, position of *G. puncticulata*-*G. margaritae* levels. These results agree with recent structural studies carried out in Southern Tuscany.

Key words — Tectonics - Biostratigraphy - Neoautochthonous - Tuscany.

(*) Centro di Studio per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino. CNR, Via S. Maria 53, Pisa.

(**) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, Via S. Maria 53, Pisa.

Pubblicazione del Centro di Studio per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino. CNR, Pisa.

INTRODUZIONE

Il margine orientale delle Colline Livornesi, la cui ossatura è costituita da unità Liguri e Subliguri, rappresenta da tempo (GIANNINI, 1960; 1962) una fascia di particolare interesse per la tettonica e la stratigrafia del sistema Neoautoctono e per il significato dei rapporti con le unità del substrato preneogenico.

Sul piano stratigrafico le successioni neoautoctone sono state analizzate in dettaglio, in tempi recenti, su trasversali diverse (BOSIO *et al.*, 1981; GIANNINI, 1960; GIANNINI, 1962; GIANNELLI *et al.*, 1982; SOMMI e STRUFFI, 1960).

In particolare lungo la «Via degli Archi» è stata studiata (BOSIO *et al.*, 1981a) una sezione stratigrafica che si sviluppa dalle facies lagunari del Messiniano fino alle argille e sabbie ad *Arctica islandica* del Santerniano. In corrispondenza di questa sezione sono state riconosciute dagli autori, in concordanza con il sottostante Messiniano, tutte le biozone del Pliocene inferiore e medio (dalla zona a *Sphaeroidinellopsis seminulina s.l.* alla zona a *Globorotalia crassaformis s.l.*).

Al Pliocene superiore (*Globorotalia inflata*) corrisponde, come sembra d'altra parte in tutta la Toscana sud-occidentale, una lacuna corrispondente ad una fase generalizzata di emersione (AMBROSETTI *et al.*, 1979; DALLAN, SALVATORINI, 1967; GIANNELLI *et al.*, 1981), con ripresa della sedimentazione al Pleistocene inferiore.

Lo studio strutturale e stratigrafico della fascia dei terreni neoautoctoni che si sviluppa longitudinalmente per alcuni Km, dalla «Via degli Archi» a nord, al T. Morra a sud, nel settore più settentrionale del margine orientale delle Colline Livornesi, suggerisce l'esistenza di una fase deformativa, a carattere compressivo, che interrompe la continuità del «ciclo sedimentario» messiniano-pliocenico.

In questa nota viene discusso il possibile significato strutturale e cronologico di questa fase, che determina, nel settore analizzato, una discordanza stratigrafica a basso angolo nel Pliocene inferiore.

STRATIGRAFIA

L'area rilevata è caratterizzata da un substrato preneogenico, costituito da una successione di unità strutturali, di origine interna in rapporto al Dominio Toscano (Liguridi e Subligure), e da una copertura trasgressiva di età messiniano-pliocenica.

Le unità del substrato

Sulla base di studi in corso (Cerrina Feroni e Martinelli) l'unità più profonda del substrato è costituita da una formazione argilloso-calcareo, di età paleoceno-eocenica, sormontata da un complesso di arenarie torbiditiche generalmente grossolane (fino a conglomerati); quest'insieme sembra correlabile, anche per la posizione tettonica, all'Unità di Canetolo.

Questa unità è sormontata tettonicamente da un flysch calcareo-marnoso (Flysch di Monteverdi-Larderello), preceduto stratigraficamente da una successione a dominante argillosa (argille a blocchi, argille a palombini).

L'edificio strutturale è completato verso l'alto dalle serpentiniti di Poggio Corbolone (Unità del Bracco) ed è organizzato in pieghe trasversali, posteriori alla messa in posto delle falde e precedenti all'instaurarsi del «Ciclo Neoautoctono». Dato lo scopo specifico di questa nota nella carta geologica (Tav. I) le unità del substrato sono state unificate.

La copertura messiniano -pliocenica.

Il segmento di copertura analizzato si sviluppa dal Messiniano al Pliocene, attraverso una successione di unità litostratigrafiche, che vengono di seguito sinteticamente descritte dalla più profonda alla più superficiale; tutte le unità sono distinte nella carta geologica dove sono contrassegnate dalla stessa numerazione progressiva adottata nella descrizione.

MESSINIANO

M1. *Conglomerato basale.* Si tratta di un conglomerato poligenico (calcarei, arenarie, ofioliti), mal cementato, costituito da ciottoli non sempre ben arrotondati, eterometrici (fino a 40-50 cm) in matrice argilloso-sabbiosa, derivanti dallo smantellamento delle unità del substrato locale; presenta stratificazione ben distinta solo in presenza di livelli sabbiosi, spesso grossolani, e, di solito, granulometria maggiore nei livelli basali a diretto contatto con il substrato. La colorazione varia dal grigio al verdastro fino a una tipica e ricorrente tonalità rosso-ruggine.

M2. *Calcare di Rosignano s.l.* Questa unità è costituita da calcari massicci biocostruiti (colonie di Porites) di scogliera e da calcari detritici, associati ad argille siltose, sabbie e, localmente, conglomerati di scarpata; la parte alta della formazione è rappresentata da marne sabbiose in strati di spessore decimetrico. In relazione alle mediocri condizioni di esposizione le diverse litofacies sono state unificate cartograficamente.

M3. *Marne zonate.* Marne, marne calcaree, marne argillose e argille di colore variabile da nocciola chiaro a grigio chiaro (se più calcaree), in strati sottili, spesso organizzati in lamine di diverso colore. Alle marne si intercalano, a più livelli, strati e banchi di gessoareniti e gessoruditi, di spessore anche superiore a 1 m, del tutto simili a quelli affioranti lungo la «Via degli Archi». Tra il T. Morra e Torciano sono stati cartografati due orizzonti distinti di gesso di modesto spessore (M3.1), sempre piuttosto mal esposti; a nord di Torciano è stato cartografato un solo livello di gesso, che presenta le sue migliori esposizioni e il massimo spessore a nord di Cordecimo, in corrispondenza dei tre piccoli laghi artificiali, all'interno della proprietà Marchi. Alla riduzione del Calcare di Rosignano sembra corrispondere, tra Torciano e Pietreto, il massimo sviluppo di questa unità a dominante argillosa.

M4. *Sabbie, argille e conglomerati.* L'unità è costituita dall'alternanza di sabbie ed argille o argille siltose, di solito incoerenti o debolmente cementate, di colore variabile da tonalità giallo-ocra o ruggine (le sabbie) al grigio (le argille), talvolta ben stratificate, in strati o banchi di spessore variabile, ma mediamente piuttosto elevato (intorno ad 1 m). Alle sabbie sono intercalati, a vari livelli, strati e banchi di conglomerati e microconglomerati ad elementi prevalentemente calcarei. I conglomerati sono particolarmente sviluppati a sud della faglia passante per Cordecimo, dove può essere seguito, con buona continuità, un livello dello spessore di 10-15 m di conglomerati e sabbie, anche ben cementati (cemento calcareo). Questo livello (M4. 1) presenta particolare interesse in rapporto alla sua giacitura discordante (cartograficamente), per la possibilità che esso sia da ricollegare ad un evento deformativo intramessiniano. Verso l'alto la successione diventa più argillosa ed è costituita da argille e argille siltose di colore grigio-piombo, con sfumature rosso-vinaccia, bruno o giallastre, cui sono associate gessareniti, che marciano spesso la transizione alle argille del Pliocene inf. (zona a *Sphaeroidinellopsis seminulina s.l.*).

Particolare interesse riveste in questa successione la presenza di livelli di gesso che, per l'associazione a sedimenti argillosi e sabbiosi a contenuto microfaunistico di ambiente ipoalino (Bossio *et al.*, 1981a), rappresentano probabilmente evaporiti non primarie. Le cattive esposizioni d'insieme non consentono infine di valutare il significato delle variazioni di spessore incrociate, che intercorrono tra il Calcare di Rosignano e le Marne zonate, tra Torciano e Pietreto.

Pliocene

P1. *Argille grigie*. Argille grigio cenere, azzurre, plastiche con abbondante contenuto microfaunistico visibile anche con la lente; questa caratteristica risulta, sul terreno, particolarmente utile per la distinzione delle argille al tetto della successione messiniana e quindi per il riconoscimento e la localizzazione del limite Mio-Pliocene. I macrofossili sono rari. Il livello P1 comprende tutta la zona a *Sphaeroidinellopsis seminulina s.l.* e la parte inferiore della zona a *Globorotalia margaritae*.

P2. *Sabbie e sabbie argillose*. Sabbie e sabbie argillose e, più raramente, argille, di colore variabile dal marrone chiaro, talora rugine, al grigio, complessivamente mal stratificate, con strati talvolta organizzati in lamine millimetriche. Questo livello (P2), che si sviluppa all'interno della zona a *Globorotalia margaritae*, è stato riconosciuto solo a nord della faglia di Cordecimo.

P3. *Argille grigie*. Argille grigio cenere-azzurre, del tutto simili a quelle basali. A volte presentano qualche livello più siltoso o qualche rara intercalazione di argille sabbiose. Passano gradualmente, per interposizione di argille-sabbiose e sabbie argillose, alle sabbie soprastanti. Il livello P3 si sviluppa dalla zona a *Globorotalia punctulata-Globorotalia margaritae* alla zona a *Globorotalia punctulata*.

P4. *Sabbie gialle*. Sabbie giallo-ocra da incoerenti a poco consolidate, mal stratificate o massicce, a volte con resti di macrofossili, cui si intercalano sabbie argillose e argille sabbiose; localmente sono presenti arenarie più cementate. Il passaggio alle argille soprastanti è localmente eteropico (Poggio ai Frati). Le sabbie (livello P4) si sviluppano interamente all'interno della zona a *Globorotalia punctulata*.

P5. *Argille grigie*. Presentano caratteri del tutto simili alle argille dei livelli P1 e P3. Verso l'alto (al di fuori della carta geologica) passano alle sabbie argillose e alle argille sabbiose, con lenti di calcare ad *Amphistegina*, che segnano la chiusura del ciclo pliocenico. Localmente i resti di macrofossili sono più abbondanti che nei livelli argillosi precedenti.

La successione descritta e cartografata corrisponde a quella analizzata da Bossio *et al.* (1981a) lungo la sezione della «Via degli Archi» e cartografata più a sud, da Giannelli *et al.* (1982). A differenza degli autori citati siamo dell'opinione che la successione non costituisca una serie stratigrafica continua; riteniamo, viceversa, che una discordanza stratigrafica scomponga la successione in due segmenti, di cui quello inferiore solidale con il Messiniano e quello superiore organizzato in un secondo ciclo, il cui termine regressivo, di chiusura, è rappresentato dalle sabbie, con lenti di calcare ad *Amphistegina*, contenenti *Globorotalia crassaformis crassaformis* e *Bulimina marginata* e riferiti alla parte alta della zona a *Globorotalia aemiliana* nell'accezione di Iaccarino (1985).

DATI BIOSTRATIGRAFICI.

La campionatura ha interessato la porzione sommitale dei depositi messiniani e tutti i livelli del Pliocene inferiore (Tav. II), con il duplice scopo di controllare arealmente il limite Mio-Pliocene e di verificare le relazioni tra lito e biostratigrafia. Sono stati prelevati in totale 69 campioni; il residuo di lavaggio (su circa 200 gr. di campione secco) è stato suddiviso in due frazioni: una con granulometria superiore a $0,125 \mu\text{m}$ e l'altra con granulometria compresa tra $0,063 \mu\text{m}$ e $0,125 \mu\text{m}$. L'analisi micropaleontologica è stata limitata alla frazione più grossolana ed estesa per pochi campioni anche a quella più fine. Lo stato di conservazione dei microfossili è generalmente buono e il rimaneggiamento è occasionale.

I dati micropaleontologici esposti in questa nota sono risultati preliminari di un più ampio lavoro in corso (Perilli) in tutto il «bacino del F. Fine».

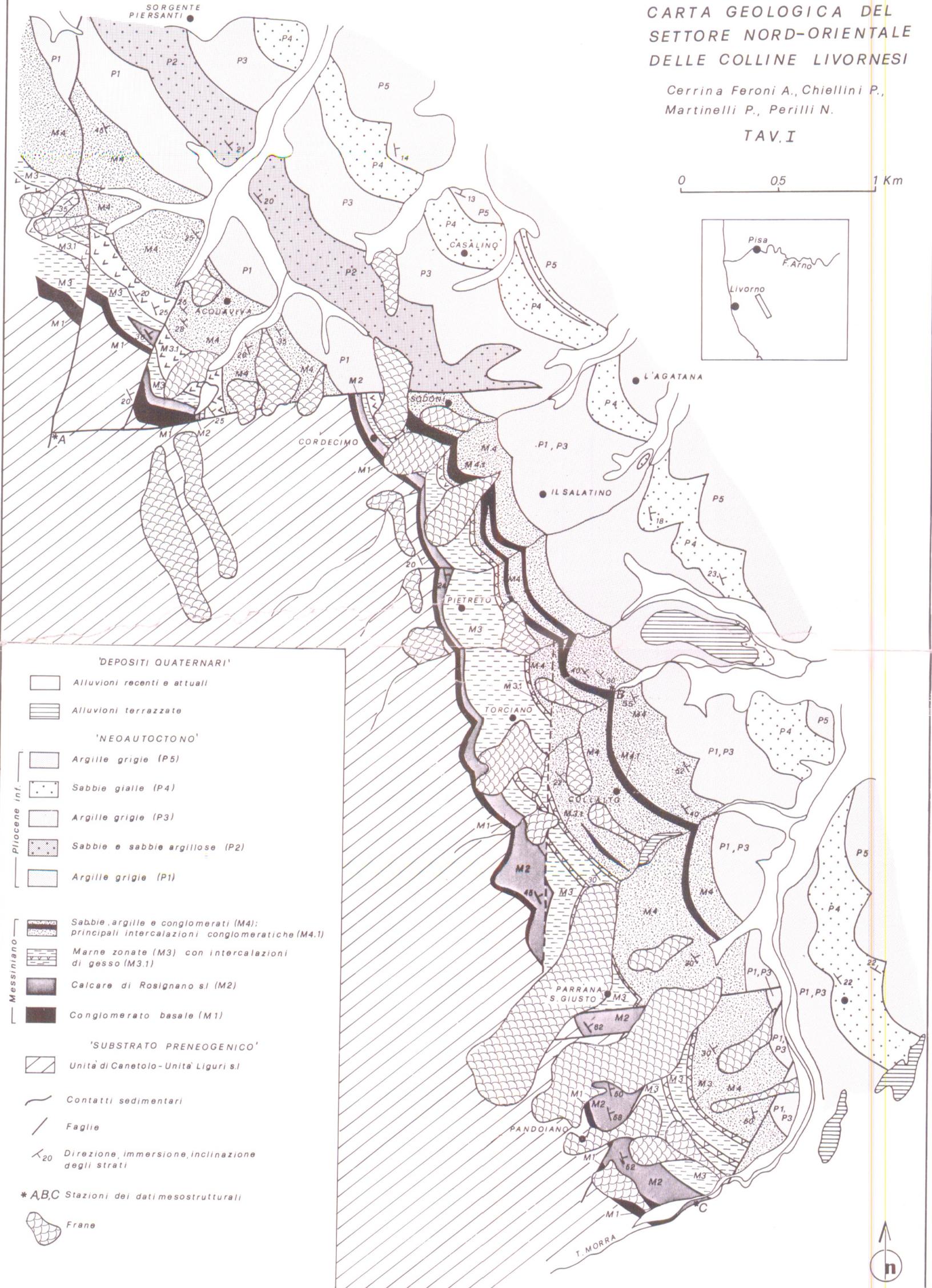
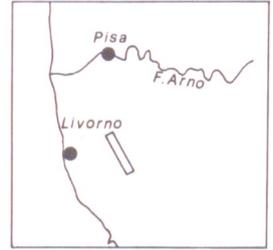
L'analisi micropaleontologica è stata mirata al riconoscimento delle associazioni a Foraminiferi planctonici. In Tav. III sono elencate le specie riconosciute ed il campo di variabilità delle rispettive classi di abbondanza all'interno di ogni biozona. I valori sottolineati

CARTA GEOLOGICA DEL SETTORE NORD-ORIENTALE DELLE COLLINE LIVORNESI

Cerrina Feroni A., Chiellini P.,
Martinelli P., Perilli N.

TAV. I

0 0,5 1 Km



'DEPOSITI QUATERNARI'

- Alluvioni recenti e attuali
- Alluvioni terrazzate

'NEOAUTOCTONO'

- Argille grigie (P5)
- Sabbie gialle (P4)
- Argille grigie (P3)
- Sabbie e sabbie argillose (P2)
- Argille grigie (P1)

- Sabbie, argille e conglomerati (M4);
principali intercalazioni conglomeratiche (M4.1)
- Marne zonate (M3) con intercalazioni
di gesso (M3.1)
- Calcarea di Rosignano s.l. (M2)
- Conglomerato basale (M1)

'SUBSTRATO PRENEOGENICO'

- Unità di Canetolo - Unità Liguri s.l.
- Contatti sedimentari
- Faglie
- Direzione, immersione, inclinazione
degli strati

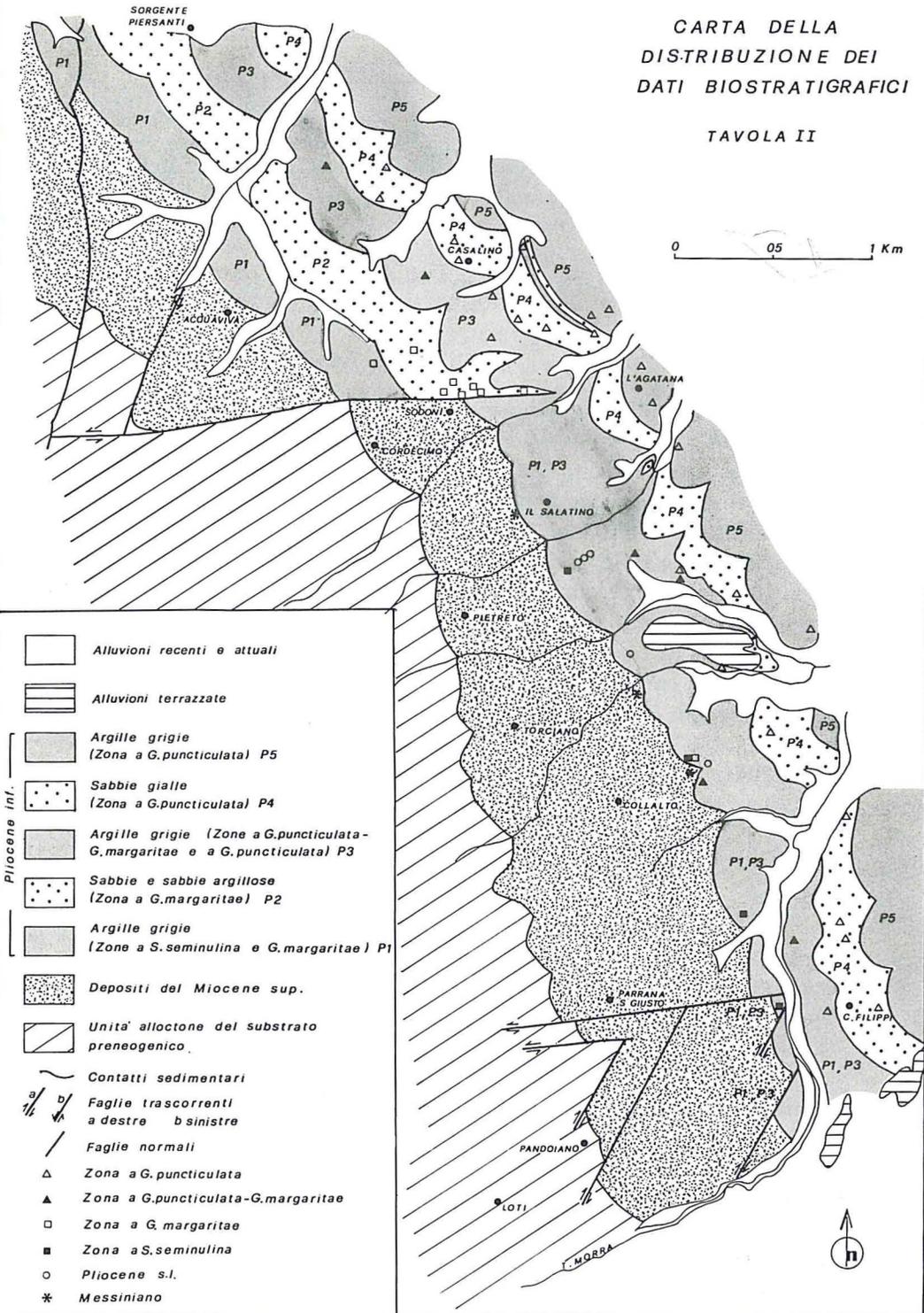
*ABC Stazioni dei dati mesostrutturali

- Frane

CARTA DELLA
DISTRIBUZIONE DEI
DATI BIOSTRATIGRAFICI

TAVOLA II

0 05 1 Km



si riferiscono a quelle specie solo occasionalmente presenti in ciascuna biozona. Sono inoltre indicati, tra le parentesi, i valori limite riscontrati in 1 o 2 campioni e le percentuali del detrito e del benthos (rispetto al totale dei Foraminiferi). Per le frequenze delle specie è stata utilizzata la seguente simbologia per le 6 classi di abbondanza distinte: VR=molto raro; R= raro; F= scarso; C= comune; A= abbondante e VA= molto abbondante.

Messiniano

Come già accennato, sono stati campionati della successione messiniana solo i depositi argillosi sommitali, a diretto contatto con le argille plioceniche. Sono stati analizzati 15 campioni, di cui 4 del tutto sterili, 11 caratterizzati da una frazione organica percentualmente molto variabile (dal 10 fino al 90%), costituita essenzialmente da Ostracodi a guscio liscio e subordinatamente da Oogoni di *Characae* e, più raramente, da Foraminiferi bentonici. Le associazioni ad Ostracodi sono, nell'insieme, oligotipiche con individui ben preservati. Tra i generi riconosciuti si segnalano: *Cyprideis*, *Loxoconcha* e *Candona*. In rarissimi campioni la microfauna è rappresentata solo da Ostracodi (30-40% del residuo di lavaggio) e da *Ammonia beccari tepida* (20-30%), con individui tipici e ben conservati. Molto spesso il detrito è costituito da scaglie di gesso, in percentuale variabile (dal 20 al 99%).

Pliocene

In base allo schema biostratigrafico di IACCARINO (1985) sono state riconosciute le seguenti biozone:

- zona a *Sphaeroidinellopsis seminulina s.l.*;
- zona a *Globorotalia margaritae* ;
- zona a *Globorotalia puncticulata-Globorotalia margaritae* ;
- zona a *Globorotalia puncticulata* .

La zona a *Sphaeroidinellopsis seminulina s.l.* è definita come l'intervallo compreso tra il ristabilirsi di condizioni marine a salinità normale e la comparsa di *G. margaritae*. Sia la base che il tetto sono facilmente riconoscibili nell'area rilevata. La base è caratterizzata, rispetto ai sottostanti depositi messiniani, da una esplosione di Foraminiferi planctonici e bentonici e da una drastica riduzione

TAV. III

| FORAMINIFERI | PLANCTONICI | PLOCENE INFERIORE | | |
|---------------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-----------------------------------|
| | | S. seminulina s.l. | G. margaritae | G. puncticulata- G. margaritae |
| Globigerina | apertura | VR-R (C) | VR-F (C) | F-C |
| » | bulloides | C-A | C-A | C-A |
| » | calida praecalida | V-R | V-R | VR |
| » | decoraperta | R-C | F-C | (VR) F-C |
| » | digitata praedigitata | | | |
| » | falconensis | F-C | R-C | F-C |
| » | nepenthes | VR-R | VR | VR |
| » | quinqueloba | R-F (C) | (VR) F-C | (VR) F-C |
| Globigerinoides | elongatus | | VR-R | VR-R |
| » | emeisi | cf VR | | VR |
| » | belicinus | VR | | |
| » | obliquus extremus | F-C | F-C (VA) | R-C (A) |
| » | obliquus obliquus | F-C | F-C | R-C |
| » | quadrilobatus quadrilobatus | R-C (A) | F-A | VR-F |
| » | quadrilobatus sacculifer | VR-F | R-C | VR-F |
| » | quadrilobatus trilobus | VR-F (A) | R-A | VR-F (A) |
| » | ruber | | VR | VR-F |
| Globorotalia | acostaensis | R-F | R-F | VR-F |
| » | margaritae | | VR-C | VR-A |
| » | puncticulata | | | (VR) R-A |
| » | scitula | VR-R | | VR |
| Sphaeroidinellopsis | seminulina seminulina | VR-R | | |
| » | seminulina paedethiscens | VR-R | | |
| Globigerinita | glutinata | VR | VR | VR |
| Globoquadrina | altispira | | | |
| Hastigerina | pelagica | VR-F | VR-F | VR-F |
| » | siphonifera | VR | VR-F | VR-F |
| Orbulina | bilobata | | | |
| » | suturalis | | | |
| » | universa | C-A (VA) | C-A | F-C |
| Detrito | | 10-35% | 20-50% | 5-30% |
| Benthos | | 15-30% | 5-20% | 5-20% |
| | | | | 10-60% |
| | | | | 5-20% |

degli Ostracodi; il tetto è ben definito dalla comparsa di *G. margaritae*. Il genere *Sphaeroidinellopsis* è presente in 4 campioni con le specie *S. seminulina* e *S. seminulina paenedehiscens*. Gli altri generi sono rappresentati da *Globigerina*, prevalente, *Globigerinoides* ed *Orbulina*, nonché da *Globorotalia*, del tutto subordinata.

La zona a *Globorotalia margaritae* è definita come l'intervallo compreso tra la comparsa di *G. margaritae* e la comparsa di *G. puncticulata*. *G. margaritae*, presente fin dai campioni basali, diventa all'interno della biozona progressivamente più abbondante. Il tetto è agevolmente riconoscibile per la presenza di *G. puncticulata* già nei campioni basali della sovrastante biozona. Anche in questo intervallo il genere *Globigerina* prevale rispetto ai generi *Globigerinoides*, *Orbulina* e *Globorotalia*.

La zona a *Globorotalia puncticulata-Globorotalia margaritae* è definita come l'intervallo compreso tra la comparsa di *G. puncticulata* e la scomparsa di *G. margaritae*. *G. puncticulata*, presente fin dai campioni basali, aumenta in percentuale verso l'alto; *G. margaritae*, viceversa, si riduce. Le *Globigerine*, di norma prevalenti, in qualche campione sono subordinate alle *Globorotalie*; *Globigerinoides* ed *Orbulina* sono gli altri due generi ben rappresentati.

La zona a *Globorotalia puncticulata* è definita come l'intervallo compreso tra la scomparsa di *G. margaritae* e la comparsa di *Globorotalia aemiliana*. Questa biozona è caratterizzata dalla presenza di *G. puncticulata*. I generi *Globigerina* e *Globorotalia* sono prevalenti rispetto a *Globigerinoides* ed *Orbulina*.

Diamo ora un cenno sulle specie più frequenti.

Il genere *Globigerina* è rappresentato principalmente dalle specie *G. bulloides*, *G. decoraperta*, *G. falconensis* e *G. quinqueloba*. *G. apertura* aumenta in percentuale dalla zona a *S. seminulina s.l.* alla zona a *G. puncticulata*. In quest'ultima *G. apertura* e *G. decoraperta* sono le specie prevalenti o esclusive del genere.

Il genere *Globigerinoides* è rappresentato quasi costantemente da *G. obliquus extremus* e *G. obliquus*. Il gruppo *G. quadrilobatus*, con le specie *G. quadrilobatus quadrilobatus*, *G. quadrilobatus trilobus* e, subordinatamente, *G. quadrilobatus sacculifer*, presenta una forte dispersione nelle frequenze. Ciò è dovuto alla esplosione, nelle biozone a *S. seminulina s.l.* e *G. margaritae*, di una o tutte e tre le specie che, in alcuni campioni sono presenti in quantità uguali o leggermente inferiori alle sole *Globigerine*. *G. elongatus*, presente occasionalmente alla base della successione studiata, verso l'alto aumenta in percentuale, tanto che nella zona a *G. puncticulata* talvolta è l'unico *Globigerinoides* presente.

Il genere *Orbulina* è presente in tutti i campioni e quasi sempre con la sola specie *O. universa*; *O. bilobata* e *O. suturalis* sono subordinate ed occasionalmente presenti. *Hastigerina*, con le specie *H. siphonifera* e *H. pelagica*, è complementare e sporadicamente presente.

Le percentuali di detrito sono variabili tra il 5 ed il 20%. I valori massimi caratterizzano i depositi basali del Pliocene e i livelli sabbiosi all'interno delle biozone a *G. margaritae* e *G. puncticulata*. Il benthos nell'insieme mostra una graduale riduzione dalla biozona a *S. seminulina s.l.* alla zona a *G. puncticulata*. Valori elevati sono stati rinvenuti in rari orizzonti all'interno della successione studiata.

LA FASE TETTONICA DEL PLIOCENE INFERIORE.

Sulla trasversale di Cordecimo il substrato preneogenico e parte della copertura neoautoctona sono interessati da due faglie, subverticali, di direzione rispettivamente N20 e N80, che disegnano un dietro acuto, di bisettrice N50. La geometria delle due faglie suggerisce l'ipotesi di un sistema trascorrente coniugato, realizzato a carico di una serie non più tabulare (1), che ammetta un σ_1 coincidente con la bisettrice del dietro acuto (N50) e un σ_2 coincidente con l'intersezione, subverticale, delle faglie stesse; i rigetti orizzontali apparenti osservabili cartograficamente sono compatibili con la soluzione adottata: movimento sinistro (sx) per la N80 e destro (dx) per la N20.

Il sistema trascorrente coniugato è esposto in un affioramento di serpentiniti del substrato, nell'incisione del Rio Sambuca, sulla prosecuzione della faglia di direzione N80, dove (staz. A della Tav. I) trascorrenti dx di direzione intorno a N15 sono associate a trascorrenti sx di direzione N80. Il sistema trascorrente è chiaramente interrotto, nell'affioramento di cui si tratta, da una faglia normale-sinistra (N-sx) di direzione da N170 a N20 (Tav. I). Lo stesso motivo strutturale (associazione di faglie con disposizione a losanga) è stato rilevato a carico di una parte della successione neoautoctona nella parte meridionale della fascia rilevata, tra Parrana S. Giusto e il T. Morra (Tav. I); anche in questo caso i rigetti cartografici (dx per

(1) Faglie trascorrenti che si producono a carico di una successione tabulare non possono determinare, cartograficamente, alcun rigetto, neppure nel caso che la successione venga successivamente dislocata dall'orizzontale ruotando, per flessione o altro meccanismo, insieme alle faglie che la intersecano.

le faglie di direzione N10-20 e sx per la faglia di direzione N80) suggeriscono un raccorciamento intorno a N45-50 (NE-SW).

Anche la geometria degli strati della successione neautoctona interessata dalle faglie (direzione da N130 a N160 ed immersione verso NE da 20° a 60°) è coerente con una direzione di raccorciamento intorno a NE-SW. Siamo quindi orientati ad interpretare il sistema di faglie descritto come l'espressione di un episodio fragile tardivo nell'ambito di una deformazione progressiva a carattere compressivo (σ_1 orizzontale).

Il sistema di faglie a losanga non passa attraverso le sabbie a *G. puncticulata* (livello P4), anch'esse immergenti verso NE, ma con inclinazioni minori (tra 10° e 20°) rispetto al segmento neogenico sottostante, che si seguono in continuità dal T. Morra alla «Via degli Archi».

Il contatto Mio-Pliocene è viceversa sistematicamente scalato dal sistema di faglie di cui si tratta, con particolare evidenza (circa 1 km di rigetto cartografico) dalla faglia sx (N80), passante per Cordecimo.

Questi dati sono compatibili con l'esistenza di una fase tettonica compressiva, attiva nel Pliocene inf., anteriore alla deposizione delle sabbie a *G. puncticulata*; i dati biostratigrafici raccolti e rappresentati in Tav. II consentono una migliore definizione cronologica di questo evento deformativo.

A nord della faglia di direzione N80, tra le argille del livello P1 e le argille del livello P3 si interpone un orizzonte di sabbie e sabbie argillose, di norma ben riconoscibili (livello P2); a sud della faglia, viceversa, il livello di sabbie di cui si tratta non è più presente, cosicché la sequenza pliocenica è interamente argillosa fino alla base delle sabbie a *G. puncticulata* (livello P4).

Mentre a nord della faglia, inoltre, il livello argilloso P1 mantiene uno spessore costante, a sud lo stesso livello si riduce progressivamente tra i Sodonì e Collalto, dove le argille a *G. puncticulata*-*G. margaritae* vengono quasi a contatto con i depositi del Messiniano, che qui inclinano di 56° verso NE.

La faglia di Cordecimo (trascorrente sx) divide quindi la fascia in studio in due settori con caratteristiche abbastanza diverse; a partire dalle argille a *G. puncticulata*-*G. margaritae* tende a ristabilirsi, tra i due settori, una sostanziale omogeneità, particolarmente ben espressa dalla continuità del corpo sabbioso soprastante (livello P4).

Le differenze tra i due settori possono essere ricondotte a mec-

canismi di interferenza tra il processo sedimentario in atto e l'attività della faglia di Cordecimo. Producendosi a carico di una serie non più tabulare, ma già immergente verso NE, la faglia, anche con un movimento di trascorrenza pura (sx), deve avere necessariamente realizzato una struttura morfotettonica rilevata, corrispondente al blocco meridionale spostato verso est. Con questo meccanismo si viene a creare, in corrispondenza della faglia, uno scalino tra i due blocchi, con dislivello tutt'altro che trascurabile nel caso di uno spostamento orizzontale dell'ordine del km. Questo scalino avrebbe costituito una barriera morfologica, orientata in direzione W-E, in grado di bloccare la trasmissione verso sud delle sabbie del livello P2, impedendone così la deposizione in corrispondenza del blocco a sud della faglia.

Mentre sul blocco settentrionale la deposizione delle sabbie assicurava la continuità del processo sedimentario, il blocco meridionale veniva probabilmente esposto, in ambiente sottomarino, all'asportazione parziale dei fanghi del livello P1, in precedenza deposti. Con l'esaurirsi del movimento trascorrente e la fine della deposizione delle sabbie a *G. margaritae*, che tendono a colmare la depressione morfostrutturale delimitata dalla faglia di Cordecimo, si ristabiliscono tra i due settori condizioni di omogeneità che preludono alla deposizione, questa volta continua su entrambi i settori, delle sabbie a *G. puncticulata* (livello P4).

Questo modello è evidentemente valido a condizione che gli apporti sabbiosi del livello P2 provenissero dai quadranti settentrionali; in questo senso appare significativa la chiusura verso sud del corpo sabbioso superiore a *G. puncticulata* (P4) (all'altezza di Marmigliaio, fuori carta), non più segnalato, nella sequenza infrapliocenica, nel margine sud-orientale delle Colline Livornesi (BARTOLETTI *et al.*, 1985). L'insieme dei dati stratigrafici e strutturali suggerisce quindi l'esistenza di una fase tettonica, sinsedimentaria, accompagnata da una modesta lacuna nel settore più esposto, responsabile di una deformazione compressiva (σ_1 di direzione SW-NE), il cui effetto più vistoso è rappresentato dai sistemi di faglie trascorrenti coniugate, che dislocano la successione messiniana e le argille plioceniche del livello P1, controllano la sedimentazione delle sabbie a *G. margaritae* del livello P2 e si interrompono contro le argille a *G. puncticulata*-*G. margaritae* (P3), che ne fossilizzano l'attività. In Fig. 1 è tracciato il possibile andamento cartografico della superficie isocrona che sigilla l'attività del sistema trascorrente e segna il ristabilirsi di condizioni sostanzialmente uniformi nella fascia ana-

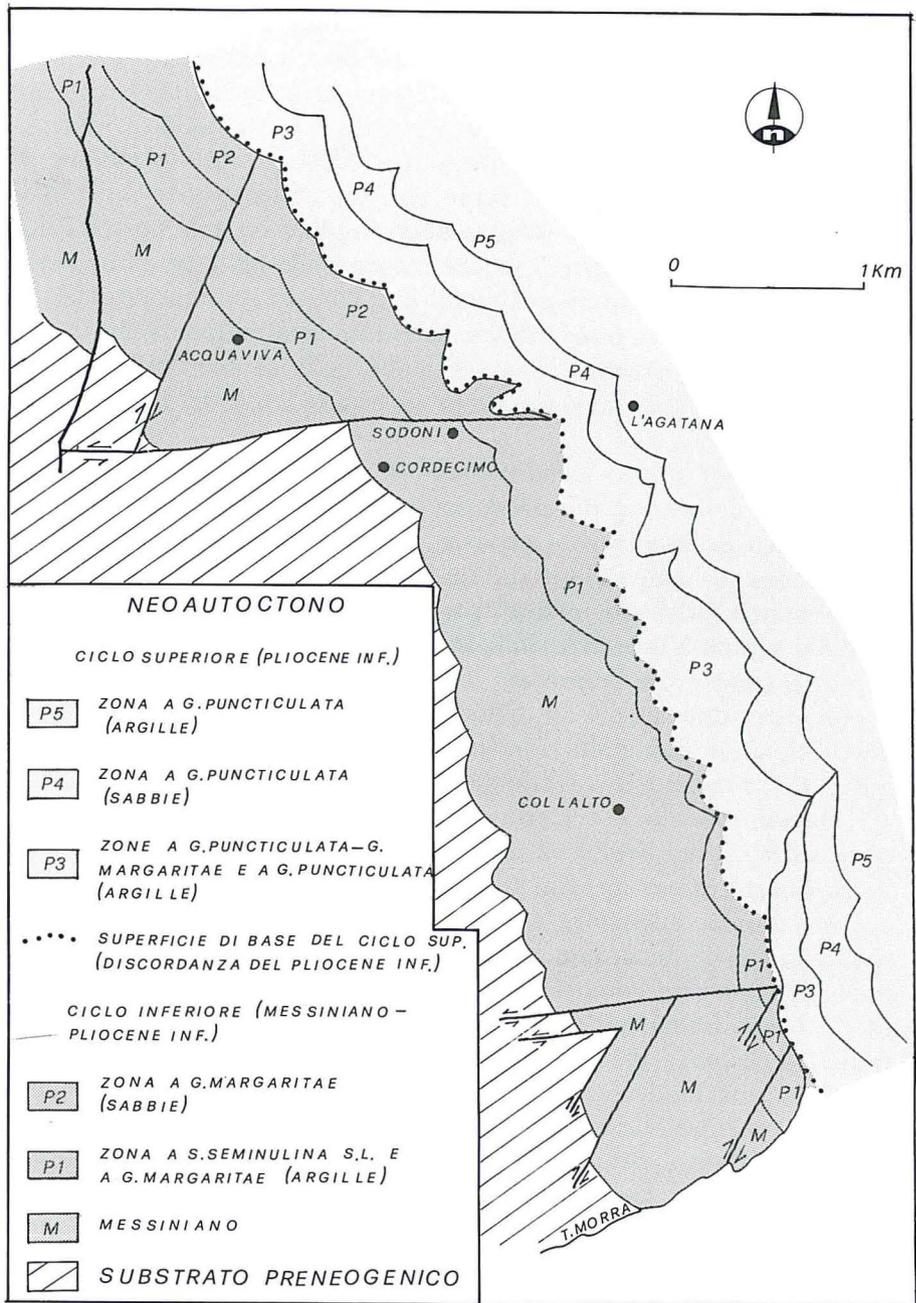


Fig. 1 - Probabile andamento della superficie isocrona che sigilla il sistema di faglie trascorrenti coniugate della fase infrapliocenica.

lizzata; la superficie tracciata corrisponde, sia pure con le inesattezze inevitabili in presenza di una sequenza omogeneamente argillosa, alla base della zona a *G. puncticulata*-*G. margaritae*. È probabile che la tendenza a convergere verso Collalto delle superfici M/P1 e P1/P3 (Fig. 1) sia l'espressione cartografica di una discordanza a basso angolo, connessa alla fase tettonica di cui si tratta, e di modesti processi erosivi instauratisi nel blocco a sud della faglia di Cordecimo, a carico della parte più elevata (livello P1) della successione neoautoctona già deposta; il carattere post-tettonico della superficie isocrona è tuttavia chiaramente espresso soprattutto dai suoi rapporti giacitureali con il sistema di faglie trascorrenti, che si arrestano alla sua altezza. Come sempre in presenza di una discordanza a basso angolo, la discordanza stessa non è individuabile su una singola verticale, ma soltanto attraverso il confronto di sezioni diverse; è quindi naturale che si manifesti solo a scala cartografica. Se da un lato l'area in studio non presenta caratteristiche ottimali per il riconoscimento della discordanza, le condizioni sono viceversa favorevoli per una buona definizione cronologica della fase tettonica; in relazione infatti ai modesti processi erosivi a carico delle argille a *S. seminulina s.l.*-*G. margaritae* del settore a sud della faglia di Cordecimo, ma soprattutto in relazione al brusco arresto delle sabbie a *G. margaritae* contro la faglia stessa (e al meccanismo proposto per spiegare questa distribuzione), la fase tettonica va collocata all'interno dell'intervallo cronostratigrafico corrispondente alla zona a *G. margaritae* e si esaurisce con la zona a *G. puncticulata*-*G. margaritae*.

È possibile, anche se nel caso analizzato non strettamente necessario, che il nuovo ciclo sedimentario sia stato controllato da processi distensivi successivi alla fase deformativa discussa; nella fascia analizzata sono state in effetti rilevate, a diverse scale, faglie normali sinistre di direzione compresa tra N20 e N 170, chiaramente posteriori al sistema trascorrente coniugato discusso prima; mancano tuttavia, per il momento, elementi che consentano di stabilire i rapporti cronologici relativi tra questo sistema di faglie normali e la «discordanza» del Pliocene inferiore.

DATI MESOSTRUTTURALI

In relazione alle litologie sfavorevoli i dati mesostrutturali non sono numerosi; essi derivano tuttavia da tipologie diverse (strutture stilolitiche impresse sui ciottoli, micro e mesofaglie, fratture di esten-

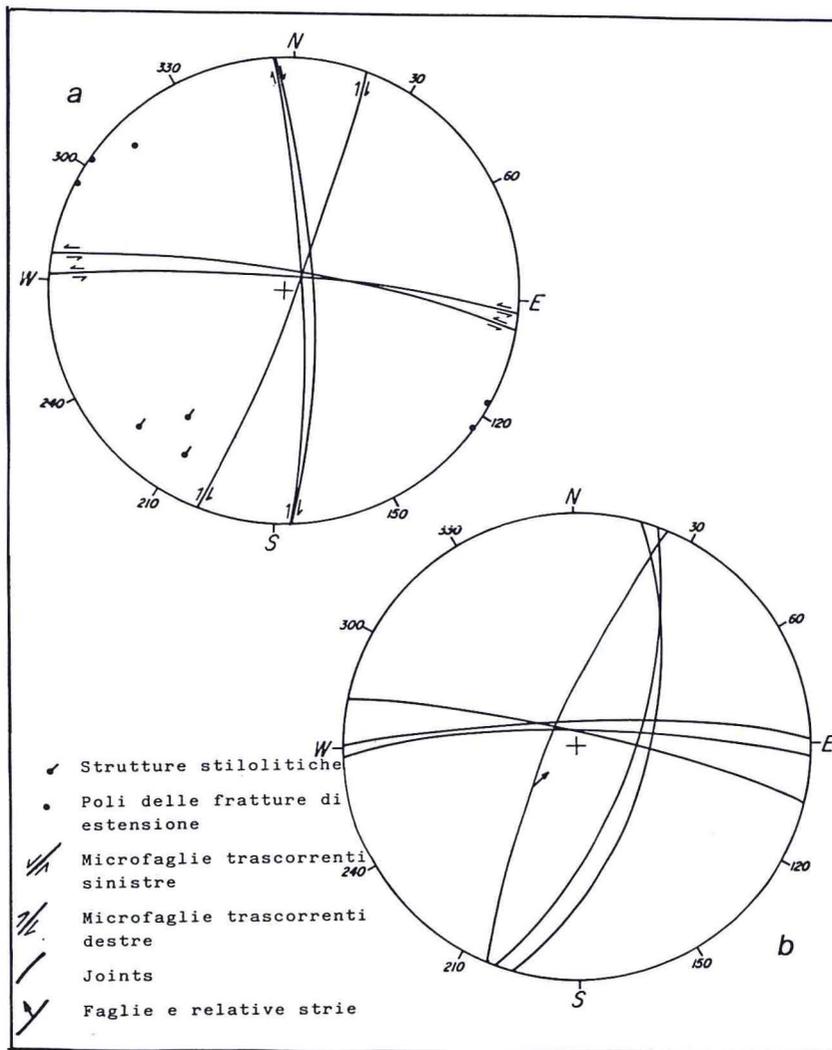


Fig. 2 - Mesostrutture dei depositi messiniani.
 a) Conglomerati della stazione B; b) Calcarea di Rosignano della stazione C. Reti-
 colico di Wulff. Emisfero sup.

sione, joints) e concordano tutti nell'indicare l'esistenza di un raccorciamento suborizzontale di direzione N40-50.

Nei conglomerati messiniani della stazione B (livello M4.1 della carta di Tav. I) stiloliti, microfaglie e fenditure di estensione su ciottoli indicano un raccorciamento massimo (σ_1), suborizzontale, intor-

no a NE-SW e un massimo allungamento (σ_3), anch'esso suborizzontale, di direzione NW-SE; l'inclinazione verso NE delle strutture stilolitiche (conforme all'immersione degli strati) suggerisce inoltre che queste strutture si siano prodotte a carico di strati ancora tabulari (fig. 2).

Nelle sabbie immediatamente sottostanti ai conglomerati la deformazione fragile si traduce essenzialmente in un sistema di fratture subverticali prive di indicatori cinematici (fig 3); queste fratture sono in parte organizzate secondo direzioni (N170-N10 e N90-95), che riproducono la distribuzione delle microtrascorrenti rilevate sui ciottoli del conglomerato. Anche per questi joints è probabile, in parte, un'origine preflessione, dal momento che la bisettrice del dietro acuto tra i joints immerge verso NE come le superfici di stratificazione.

Particolare interesse riveste invece la faglia F1 N12. 68W, che porta due sistemi di strie (st_1 N3.20N e st_2 N97.66W). La faglia presenta un rigetto normale, apparente, di ordine decimetrico. Sul terreno le strie non forniscono indicazioni chiare sul senso di movimento, né sono chiari i rapporti di cronologia relativa tra i due sistemi; al microscopio (su un campione orientato del piano di faglia), tuttavia, il sistema st_1 indica un movimento destro e il sistema st_2 un movimento normale; si chiariscono inoltre i rapporti di precedenza, con evidente sovrapposizione del sistema st_2 al sistema st_1 .

Si tratta pertanto di una faglia trascorrente destra (compatibile con un σ_1 nuovamente orientato intorno a NE-SW), riutilizzata successivamente come faglia normale. È inoltre probabile, per i rapporti che intercorrono con la geometria della stratificazione (N123 21NE), che il movimento trascorrente dx sia antecedente alla flessione degli strati; in questa ipotesi la faglia F1 si trasforma in una faglia più inclinata, con strie quasi orizzontali, per restituzione all'orizzontale della stratificazione (fig. 3). Negli strati calcareo-marnosi della parte alta del calcare di Rosignano, nel T. Morra (staz. C), i dati meso-strutturali si riferiscono ad un sistema di joints coniugati, a intersezione subverticale, che disegnano sulle superfici di strato losanghe a bisettrice acuta intorno a N55 e si dispongono secondo due direzioni (N90 e N20), che richiamano quelle delle faglie trascorrenti cartografiche e delle microfaglie sui ciottoli dei conglomerati (fig. 2); la contemporaneità di questo sistema di joints con le faglie trascorrenti cartografiche è avvalorata dai rapporti con la faglia normale-sinistra, di direzione N24, che taglia nettamente i joints di questa stazione, così come faglie N-sx della stessa direzione tagliano le faglie trascorrenti (serpentiniti del Rio Sanguigna).

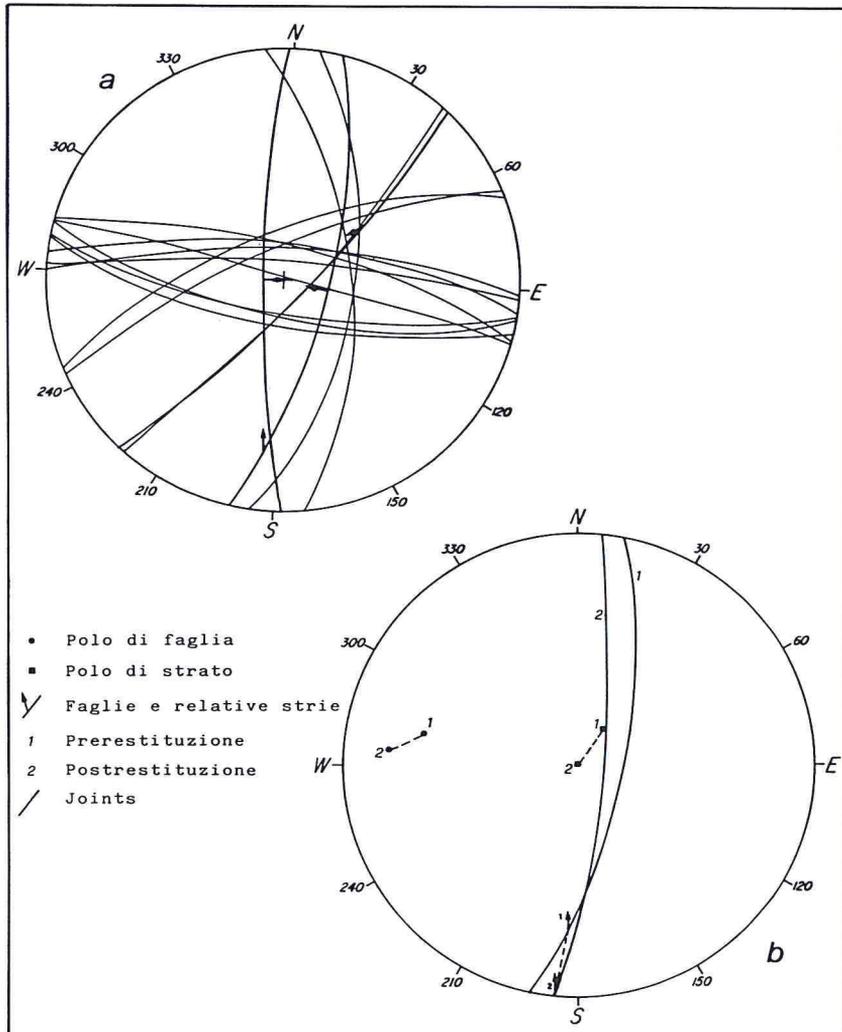


Fig. 3 - Mesostrutture dei depositi messiniani.

a) Sabbie della stazione B; b) Esempio di trasformazione di una faglia Dx (1) in una faglia trascorrente Dx (2) per restituzione all'orizzontale della stratificazione (staz. B). Reticolo di Wulff. Emisfero sup.

CONCLUSIONI

La discordanza del Pliocene inferiore analizzata non costituisce, nella Toscana sud occidentale, un caso isolato, ma ha riscontro in altre situazioni di significato analogo.

Nei dintorni di Casciana Terme, 25 km ad est circa dell'area in studio, le argille a *G. puncticulata*, precedute da un conglomerato basale trasgressivo, sormontano direttamente il substrato preneogenico, costituito da unità liguri e toscane (Bossio *et al.*, 1981b).

Nella bassa val di Cecina, nei dintorni di Bolgheri, le argille a *G. puncticulata*-*G. margaritae*, anche in questo caso precedute da un conglomerato di trasgressione, sormontano direttamente le argille a *Pycnodonta navicularis* del Messiniano superiore, senza interposizione delle zone a *S. seminulina s.l.* e a *G. margaritae*. Poco più a nord, viceversa, il Pliocene inf. a *S. seminulina s.l.* sormonta in concordanza il tetto della successione messiniana (sabbie e conglomerati in facies di «lago-mare»).

Nella Toscana sud occidentale coesistono dunque, come oppurtunamente messo in rilievo da MAZZANTI e SANESI (1986), due diverse situazioni giaciture per quanto riguarda i rapporti tra i sedimenti del Pliocene inferiore ed il suo substrato.

a) Le argille a *S. seminulina s.l.*, seguite in continuità da argille (e sabbie) a *G. margaritae*, si sovrappongono, sempre in concordanza angolare, ad una formazione clastica di ambiente lagunare o lacustre, che costituisce ovunque il termine più elevato della successione messiniana («lago-mare»).

b) Le argille a *G. puncticulata*-*G. margaritae*, seguite in continuità da argille (e sabbie) a *G. puncticulata*, sormontano, oltre ai termini di base del Pliocene (zona a *S. seminulina* e *G. margaritae*), anche termini della successione messiniana (bassa Val di Cecina) o unità del substrato preneogenico (Casciana Terme) e sono quindi complessivamente discordanti (2).

Queste condizioni giaciture sono di solito interpretate come l'espressione di una trasgressione diacrona, controllata, nel corso del Pliocene inf., da una tettonica distensiva che, attraverso sprofondamenti successivi, avrebbe prodotto la dilatazione progressiva degli originari bacini limitati da faglie dirette.

(?) È probabile che le differenze tra le due successioni siano solo apparenti; è infatti verosimile che i conglomerati trasgressivi di Casciana Terme, che raggiungono i 50 m. di spessore (GIANNELLI *et al.*, 1981), corrispondano alla zona a *G. puncticulata*-*G. margaritae*.

La situazione riconosciuta nelle Colline Livornesi si colloca in questo quadro senza contraddizioni dal punto di vista geometrico, ma sembra offrire elementi per una diversa interpretazione dell'evoluzione tettonica nel Pliocene inferiore.

Nella fascia analizzata sono presenti, nello spazio di pochi km, entrambe le condizioni giaciture descritte: mentre le argille a *S. seminulina s.l.* seguono in continuità di sedimentazione le sabbie e le argille messiniane di «lago-mare» e tra le due unità non si riscontrano discordanze, le argille a *G. puncticulata-G. margaritae*, viceversa, sormontano livelli stratigrafici diversi, fino a sfiorare, con l'interposizione di un ridottissimo spessore di argille a *S. seminulina s.l.* e *G. margaritae*, le sabbie messiniane di «lago-mare» (Collalto).

La discordanza alla base del livello a *G. puncticulata-G. margaritae* che, analogamente a quanto si verifica in Val di Cecina, nei dintorni di Bolgheri, non si realizza soltanto attraverso la diretta sovrapposizione sul substrato preneogenico (come nei dintorni di Casciana Terme), ma anche per sovrapposizione su termini diversi, messiniani e pliocenici, della successione neoautoctona, è, di per sé, difficilmente spiegabile nel quadro di un progressivo sprofondamento.

I dati strutturali, a diversa scala, documentano d'altra parte, tra la «Via degli Archi» e il torrente Morra, l'esistenza di deformazioni compressive, da ricondurre necessariamente ad una fase tettonica attiva nell'intervallo corrispondente alla zona a *G. margaritae*. Ci sembra verosimile che anche nelle altre aree (dove la discordanza alla base dei livelli a *G. puncticulata-G. margaritae* è, tra l'altro, anche più vistosa) la deposizione di questi livelli sia stata preceduta da una fase erosiva, che abbia asportato, anche in ambiente subaereo, gli orizzonti del Pliocene inf. già deposti (argille a *S. seminulina s.l.* e a *G. margaritae*) (Bolgheri) e, localmente, anche la successione messiniana (Casciana Terme). La fase erosiva andrebbe messa in relazione ad un sollevamento, più o meno importante secondo i settori, successivo ad una fase tettonica che, in base ai dati acquisiti tra la «Via degli Archi» e il T. Morra, potrebbe avere anche in questi casi carattere compressivo. La trasgressione del Pliocene inf. nell'intervallo considerato si articola quindi effettivamente in due episodi distinti (il primo in corrispondenza del passaggio dal Messiniano al Pliocene inf. a *S. seminulina s.l.*, il secondo in corrispondenza del Pliocene inf. a *G. puncticulata-G. margaritae*), ma tra i due si inserisce un evento deformativo-erosivo cui va ricondotta la giacitura discordante del Pliocene inf. a *G. puncticulata-G. margaritae*. Le numerose situazioni di concordanza (e continuità) tra la zona a Se-

minulina s.l. e *G. margaritae* e le biozone immediatamente successive possono corrispondere (come nelle Colline Livornesi) a settori protetti dai fenomeni erosivi successivi alla fase deformativa; in assenza di una emersione generalizzata, questa fase e la discordanza che ne deriva sono riconoscibili soprattutto a scala cartografica e non escludono l'esistenza di situazioni di continuità tra gli intervalli del Pliocene inf. Le strutture di raccorciamento discusse trovano riscontro, a scala regionale, nelle deformazioni da compressione riconosciute in tutta la Toscana meridionale, con i metodi dell'analisi mesostrutturale, nell'intervallo Messiniano-Pliocene inf. e che si manifestano, a scala mesoscopica, essenzialmente attraverso una tettonica a carattere prevalentemente trascorrente (PERTUSATI *et al.*, 1980, CERRINA FERONI *et al.*, 1983). La fase del Pliocene inferiore scompone la successione messiniano-pliocenica delle Colline Livornesi in due cicli sedimentari distinti, di cui il superiore si sviluppa dalle argille a *G. puncticulata*-*G. margaritae* fino alle sabbie e calcari ad *Amphistegina*.

Insieme alla trasgressione santerniana, la discordanza pliocenica (localmente con trasgressione) alla base della zona a *G. puncticulata*-*G. margaritae* suggerisce quindi l'articolazione del sistema Neoautoctono in tre cicli sedimentari in successione; è in realtà possibile che un'altra discordanza, alla base dei conglomerati del livello M. 4. 1, divida il ciclo inferiore in un segmento messiniano e in un segmento messiniano-pliocenico. L'esistenza di questa discordanza richiede una verifica lungo tutto il margine orientale delle Colline Livornesi, dove, tra la «Via degli Archi» e il T. Morra, i conglomerati di cui si tratta sembrano sormontare livelli diversi della successione messiniana, forse dislocati da una faglia di direzione submeridiana (Tav. I).

BIBLIOGRAFIA

- AMBROSETTI P., CARBONI M.G., CONTI M.A., COSTANTINI A., ESU D., GANDIN A., GIROTTI O., LAZZAROTTO A., MAZZANTI R., NICOSIA U., PARISI G., SANDRELLI F. (1979) - Evoluzione paleogeografica e tettonica nei bacini tosco-umbro-laziali nel Pliocene e nel Pleistocene inferiore. *Mem. Soc. Geol. It.*, **19**, 573-580.
- BARTOLETTI E., BOSSIO A., ESTEBAN M., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G., SANESI G., SQUARCI P. (1985) - Studio geologico del territorio comunale di Rosignano M^o in relazione alla carta geologica alla scala 1:25000. In: La Scienza della Terra, nuovo strumento per la lettura e la pianificazione del territorio di Rosignano M^o. Suppl. n.° 1 ai *Quad. Museo di Storia Nat. di Livorno*, **6**, 33-127.

- BOSSIO A., GIANNELLI L., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G. (1981a) - Gli strati alti del Messiniano, il passaggio Miocene-Pliocene e la sezione plio-pleistocenica di Nugola nelle colline a NE dei Monti Livornesi. In: IX Convegno della Soc. Paleont. It., 3-8 ottobre 1981, Pisa, 55-90.
- BOSSIO A., MAZZANTI R., MAZZEI R., MENESINI E., NENCINI C., SALVATORINI G., UGHI R. (1981b) - Nuove osservazioni sulla stratigrafia delle formazioni plioceniche e pleistoceniche di Casciana Terme. In: IX Convegno della Soc. Paleont. It., 3-8 ottobre 1981, Pisa, 91-120.
- CERRINA FERONI A., MORATTI G., PLESI G. (1983) - Evidenze di episodi compressivi messiniano-pliocenici alternati alla tettonica di distensione nella Toscana sud-occidentale, emerse dall'analisi mesostrutturale. In: Atti della riunione su: «Meccanismi deformativi nelle catene perimediteranee: stati di avanzamento delle ricerche e problematiche emerse». Firenze, 5 dicembre 1983 - Centro stampa Palagi, Firenze, 35-42.
- DALLAN L., SALVATORINI G. (1967) - Biostratigrafia del Pliocene della Toscana Marittima. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Serie A*, **74**, 570-578.
- GIANNELLI L., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G. (1981) - Breve quadro stratigrafico e paleogeografico del Neogene e del Quaternario del Valdarno inferiore, della Val di Fine e della Val di Cecina. In: IX Convegno della Soc. Paleont. It., 3-8 ottobre, 1981, Pisa, 9-19.
- GIANNELLI L., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G., SANESI G. (1982) - Nuove osservazioni sul Quaternario di Livorno. In «Studi sul territorio Livornese, Archeologia, Antropologia, Geologia». Centro Livornese di Studi Archeologici, 30-61.
- GIANNINI E. (1960) - Studio di alcune sezioni stratigrafiche nel Miocene superiore delle Colline Livornesi ed osservazioni sui limiti del Messiniano in Toscana. *Giorn. Geol., Ser. 2*, **28**, 35-58.
- GIANNINI E. (1962) - Geologia del bacino della Fine (provincia di Pisa e Livorno). *Boll. Soc. Geol. It.*, **81**, 99-224.
- IACCARINO S. (1985) - Mediterranean Miocene and Pliocene planktic foraminifera. In: Bolli, H.M., Saunders, J.B., Perch-Nielsen, K. (Eds.), *Plankton Stratigraphy*: pp. 281-314.
- MAZZANTI R., SANESI G. (1986) - Geologia e morfologia della bassa Val di Cecina. *Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno*, **7**, 1-27.
- PERTUSATI P.C., PLESI G., CERRINA FERONI A. (1980) - Un episodio di raccorciamento interposto tra fasi di distensione nel Calcare di Rosignano (Neoautoctono) del bacino della Fine (Toscana meridionale). *Boll. Soc. Geol. It.*, **99**, 175-181.
- SOMMI M., STRUFFI G. (1960) - Il limite Pliocene-Quaternario lungo il margine settentrionale delle colline livornesi. *Boll. Soc. Geol. It.*, **79**, 257-272.

(ms. pres. il 29 maggio 1989; ult. bozze il 15 dicembre 1989)