

G. BRACCI (*), D. DALENA (**), V. BRACACCIA (***)

CARATTERISTICHE SEDIMENTOLOGICHE DELL'ARENARIA DI CALAFURIA (TOSCANA)

Riassunto — L'arenaria di Calafuria, affiorante nella fascia costiera a sud di Livorno (Toscana), è comunemente correlata al Macigno oligocenico della Falda Toscana.

Le caratteristiche salienti di questa arenaria sono date dall'alto rapporto arenaria/pelite, dalla predominanza di strati spessi e/o grossolani rispetto ai più sottili e a granulometria più fine, dalla consistente presenza di resti vegetali e dall'abbondanza di cemento carbonatico.

L'ambiente deposizionale, interpretato in passato come costiero, alla luce dello studio presentato in questa nota risulta essere di conoide sottomarina in facies canalizzata. Sono presenti associazioni di facies grossolane e spesse, con scarsa continuità laterale e frequenti fenomeni di amalgamazione (riempimento di canali), con facies più sottili, più o meno continue lateralmente, in cui sono riconoscibili sequenze complete di BOUMA (facies di argine e/o intercanale).

Poiché gli affioramenti di «Macigno costiero» sono caratterizzati da facies grossolane sul tipo dell'arenaria di Calafuria, potrebbe essere ipotizzata la vicinanza di questa zona alla fonte di apporto dei clasti, cioè una scarpata tettonica ad ovest, delimitante una zona emersa.

Abstract — *Sedimentology of the Calafuria Sandstone (Tuscany)*. Calafuria sandstone, outcropping along the coast-line, south of Leghorn (Tuscany), is commonly related to the oligogenic Macigno of the Tuscan Nappe.

The main characteristics of this rock are:

- a high sand/shale ratio;
- the prevalence of thick and/or coarse beds over the finegrained and thin-bedded layers;
- the great occurrence of plant remnants;
- the abundance of carbonatic cement.

(*) Giovanni Bracci, Via dei Mulinacci, 8 - 57100 Livorno.

(**) Domenico Dalena, Viale V. Alfieri, 41 - 57100 Livorno.

(***) Valerio Braccaccia, AGIP S.p.A. S. Donato Milanese, P.O. Box 12069, 20120 Milano (Italy) - Abitazione: Via Milano, 18 - 20098 S. Giuliano Milanese.

According to this study, the depositional environment, in the past interpreted as coastal to paralic results to be turbiditic and probably related to a channelized, deep-sea fan. Coarse and thick-bedded facies can be observed, characterized by scarce lateral continuity and frequent erosional surfaces (channel fills), and associated with thin-bedded facies, coarse to fine, and with highly variable lateral continuity, where complete BOUMA sequences are detectable (levee and/or interchannel facies).

Since the facies typical of «Macigno costiero» (outcropping along the Tuscan coast-line) are as coarse-grained as those of Calafuria, the proximity of this zone to the clastic source can be presumed. This source area could be represented by a western tectonic slope, marking the boundary of an emerging region.

Key words — Deep-sea fan, turbidites, Macigno fm., Calafuria sandstone, Oligocene, Northern Apennines.

INTRODUZIONE

L'arenaria di Calafuria affiora in una fascia ristretta della costa tirrenica a S-SE di Livorno, approssimativamente tra il Rio Maroccone ed il Castello di Romito (fig. 1).

La base di questa formazione non affiora, mentre al tetto si trovano, sovrapposti per contatto tettonico, i terreni prevalentemente argilloso-scistosi del «Complesso ligure».

L'età fu attribuita dubitativamente all'Oligo-Miocene da CECIONI (1946), che rinvenne, in alcuni livelli argillosi, delle Cyclammie indeterminabili specificamente; in seguito TAVANI (1954) ha datato come oligocenica una macrofauna a lamellibranchi ritrovata sul versante destro del Botro Calignaia. DALLAN NARDI (1968), studiando una microfauna proveniente dai livelli fossiliferi studiati da TAVANI e da altri situati poco più in alto nella successione, conclude escludendo un'età cretacea («... vi sono prove sufficienti per sostenere almeno un'età paleogenico-aquitana della formazione, che, con molta probabilità, è da considerarsi oligocenica»).

Per questi AA. e per altri che si sono interessati dell'arenaria di Calafuria (MANASSE, 1905; RODOLICO, 1942; MALATESTA, 1954), questa formazione è assimilabile al Macigno della Serie Toscana, pur presentando delle caratteristiche petrografiche e soprattutto sedimentologiche diverse da quelle del Macigno affiorante in altre aree più orientali.

Contrariamente a questa interpretazione, CONTI e ANDRI (1966)

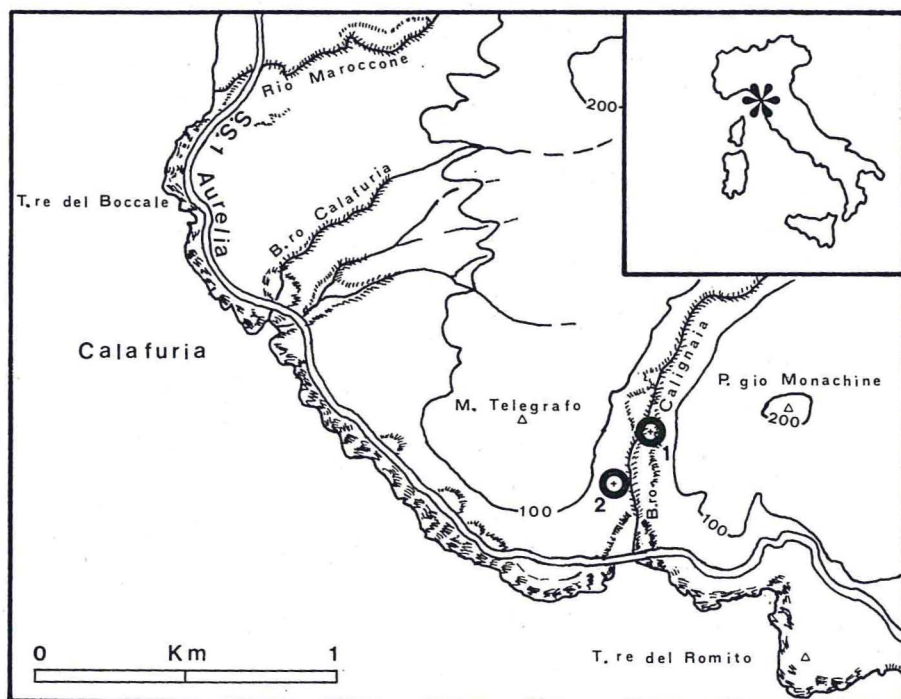


Fig. 1 - Area dello studio ed ubicazione delle sezioni misurate.

considerano questa formazione come appartenente al complesso delle «Liguridi», riferendo l'età all'Aptiano (?) - Albiano in base a determinazioni di microfossili contenuti in intervalli arenacei.

Le caratteristiche sedimentologiche e deposizionali dell'arenaria di Calafuria non sono state finora messe a fuoco compiutamente. Nessun lavoro specifico al riguardo è stato finora pubblicato, per cui le notizie provengono esclusivamente da studi di tipo paleontologico o di geologia generale, in cui la problematica deposizionale è stata affrontata sempre in maniera marginale. In particolare, TAVANI (1954) è giunto alla conclusione che «... la serie arenacea di Calafuria è dovuta a processi di sedimentazione normale e che la facies corrisponde a quella di depositi costieri: la sua origine è quindi nettamente diversa da quella del Macigno facente parte delle successive rughe appenniniche». A simili conclusioni è giunto anche MALATESTA (1954), che ha messo in relazione l'arenaria in questione ad un ambiente di tipo litorale.

Lo scopo di questa breve nota è pertanto quello di contribuire ad una più precisa conoscenza dei problemi relativi alla sedimentazione dell'arenaria di Calafuria.

CARATTERISTICHE PETROGRAFICHE

Quanto riportato di seguito è stato parzialmente desunto dalla caratterizzazione petrografica effettuata da MANASSE (1905), integrato con le osservazioni macroscopiche ed in sezione sottile da noi eseguite.

Macroscopicamente la roccia si presenta in genere molto alterata e di colore giallo-rossastro, mentre nelle porzioni più fresche il colore è grigio o grigio scuro.

Al microscopio si nota subito l'abbondanza di cemento carbonatico (in base a un'analisi chimica eseguita da MANASSE (1905) si ha il 10.93% CaCO_3); una determinazione calcimetrica effettuata su campioni freschi prelevati nella cava di Calignaia ha fornito un valore medio di 9.2% CaCO_3 , indicando inoltre l'assenza di $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

Cemento di tipo limonitico è visibile solo in alcune sezioni, mentre una bassa percentuale di matrice è sempre presente.

Il minerale più abbondante è il quarzo, che si presenta discretamente arrotondato, seguito da feldspato potassico (ortose e microclino), plagioclasti acidi, tutti molto alterati e di aspetto torbido, e miche (in ordine di frequenza: muscovite e biotite). Sono stati osservati inoltre zircone, apatite, granato, mentre MANASSE (1905) riporta anche pirite e magnetite.

I frammenti di roccia sono via via più abbondanti passando dalle arenarie ai microconglomerati ed ai conglomerati, dove possono raggiungere dimensioni ragguardevoli (sono stati osservati ciottoli molto arrotondati di micascisto con dimensioni di circa 10 cm); sono costituiti in prevalenza da micascisti, rocce intrusive acide, arenarie grigiastre e calcari marnosi neri.

CARATTERISTICHE SEDIMENTOLOGICHE

Le osservazioni di campagna sono state condotte in alcune vecchie cave e lungo tutta la fascia di costa priva di detrito, in

quanto più all'interno una fittissima macchia mediterranea, insieme a lembi di depositi clastici pleistocenici, ha impedito qualsiasi osservazione di dettaglio. Ulteriore limitazione è data dalla esistenza di una fittissima rete di diaclasi e faglie che precludono la possibilità di effettuare correlazioni su percorsi superiori alle centinaia di metri.

Gli aspetti che più contraddistinguono questa formazione sono la scarsa presenza della pelite rispetto all'arenaria, la predominanza di strati spessi e/o grossolani rispetto a strati più sottili e a granulometria più fine, la notevole diffusione di resti carboniosi di vegetali fluitati, ed infine l'alta percentuale di cemento carbonatico.

Gli strati più grossolani sono caratterizzati da spessore massimo di circa 3 m e geometria fortemente lenticolare alla scala dell'affioramento, con base concava nettamente erosiva. Sono quasi sempre costituiti da conglomerato o microconglomerato con sporadica gradazione normale; lamine parallele molto grossolane, discontinue, sono frequentemente presenti, mentre localmente si osservano inclusi di argilla ed arenaria intrabacinali, grossolanamente orientati, che possono anche superare per abbondanza il conglomerato che li ingloba.

Questa litofacies è sporadicamente distribuita nella formazione, ma soprattutto si rinviene nella scogliera immediatamente sottostante il Castello di Boccale ed in località Sassoscritto, dove sono particolarmente evidenti dei fenomeni di amalgamazione (ripetute erosioni). Trattandosi di un deposito con una certa organizzazione, il meccanismo deposizionale può essere attribuito a processi caratterizzati da altissima energia, quali possono essere i «*grain flows*» e/o correnti di elevata densità con qualche episodio di rielaborazione trattiva (MIDDLETON e HAMPTON, 1973; MUTTI e RICCI LUCCHI, 1972; HOWELL e NORMARCK, 1982).

La più diffusa litofacies dell'arenaria di Calafuria è costituita da strati arenacei di spessore variabile da 50 a 400 cm, con prevalenza intorno ai 2-3 m. Gli strati mostrano generalmente base erosiva ed una variazione laterale di spessore alla scala del centinaio di metri; i banchi sono costituiti da arenaria da media a grossolana, localmente da conglomerato a matrice arenacea (alla base degli strati o come nubi di ciottoli); alla testa degli strati possono essere presenti veli centimetrici di argilla marnosa grigia, ma più frequenti sono i fenomeni di amalgamazione.



Fig. 2 - Cava di Calignaia, lato sinistro, in prossimità della sezione n. 1. Sono evidenti le variazioni laterali di spessore e i fenomeni di amalgamazione.



Fig. 3 - Cava di Calignaia, lato sinistro; particolare della sezione n. 1. Si notano i fenomeni di amalgamazione ed il contatto concavo tra l'arenaria con strutture ed il microconglomerato con lamine a basso angolo nella parte alta.

La gradazione non è sempre presente e comunque sempre riferibile al granulo massimo più che al medio; ciottoli di fango possono essere presenti, con maggiore frequenza, alla base degli strati; qui si possono spesso osservare strutture interfacciali da carico tipo «lobi» e «fiamme». Le strutture sedimentarie, se presenti, e nella maggior parte dei casi limitate al tetto degli strati (spessore 5-50 cm), sono caratteristiche di una graduale diminuzione dell'energia deposizionale: si passa infatti, verso l'alto, da gradazione a lamine parallele più o meno spesse e a laminazione incrociata concava e/o convoluzioni.

Il meccanismo deposizionale di questa litofacies può essere assimilato ad una colata «granulare» («*liquefied flow*» di LOWE, 1976), di densità ed energia minori rispetto a quello degli strati più grossolani precedentemente descritti; la presenza eventuale di strutture sedimentarie al tetto degli strati può essere messa in relazione ad una corrente di torbida ad elevata densità (la sequenza gradata-laminata indica turbolenza; RICCI LUCCHI, 1980).

Nell'arenaria di Calafuria si sviluppano livelli più sottili di quelli sopra descritti, caratterizzati da una maggiore presenza di strutture sedimentarie. Si tratta di fitte alternanze di arenarie con spessore variabile da pochi centimetri al mezzo metro, con argille marnose grigie o nerastre. Le arenarie sono di solito finifinissime, anche se non mancano livelli più grossolani fino al microconglomerato, a volte gradate; la continuità laterale degli strati più grossolani è modestissima, mentre sembra essere maggiore per i livelli più fini; la base è sicuramente erosiva per i primi, mentre tale fenomeno non sembra essere evidente per i secondi.

Le strutture sedimentarie che caratterizzano questa litofacies sono la laminazione parallela, seguita verso l'alto da laminazione incrociata concava e/o convoluta; alla base sono raramente presenti strutture di fondo tipo «*groove cast*».

Il passaggio di ogni coppia arenaria-pelite è abbastanza graduale, con la presenza di siltiti laminate parallelamente, così come lo sono le sovrastanti peliti; nell'interfaccia sono molto frequentemente visibili tracce animali.

L'analisi globale delle caratteristiche sedimentologiche di questa litofacies ci fa ritenere che possa essere messa in relazione a correnti di torbida di più bassa energia e volume, con sviluppo sporadico di sequenze di BOUMA complete.

Associati alle facies grossolane sono stati osservati dei livelli

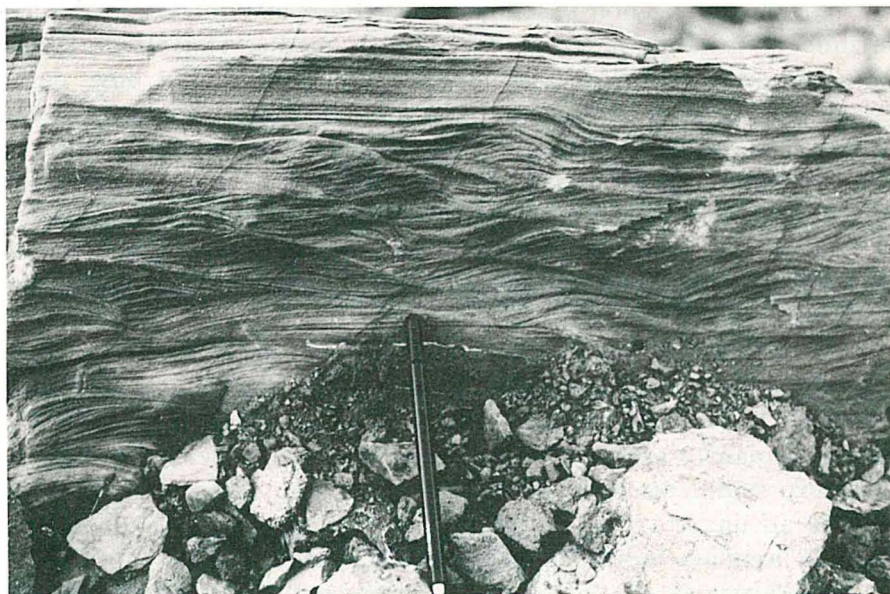


Fig. 4 - Cava di Calignaia, lato sinistro; particolare della sezione n. 1. Laminazione incrociata concava, con *climbing ripples*, passante a laminazione parallela. Tipica indicazione di energia decrescente di una sospensione turbolenta.



Fig. 5 - Scogliera, località Calignaia; lato destro. Bellissimo esempio di scivolamento sottomarino (*slumping*).

geneticamente legati a frane sottomarine (*slumping*), di cui specialmente ben visibile è quello della scogliera sottostante il ponte di Calignaia, sul lato destro della valle; alcuni metri più in alto nella serie sono stati rinvenuti, in una grossa bancata arenacea medio-grossolana, degli olistostromi costituiti da calcari micritici grigiastri, caratterizzati da una microfauna a piccole Globigerinidae, spicole di spugna e frammenti di lamellibranchi pelagici, indicante nell'insieme un probabile Cretaceo inferiore (Calcari Palombini?).

DESCRIZIONE DELLE SEZIONI MISURATE

Per meglio caratterizzare l'arenaria di Calafuria, è stato ritenuto opportuno misurare alcune sezioni stratigrafiche, di cui viene riportata di seguito la descrizione delle due più significative. Per l'ubicazione si veda la fig. 1.

I - Sezione misurata sul versante sinistro del Botro Calignaia

Questa sezione è caratterizzata da sequenze cicliche di strati grossolani (specialmente nella parte bassa), alternate ad altre più sottili (con la presenza sporadica di sequenze complete di Bouma). L'ultimo episodio grossolano rappresenta la base di un altro ciclo.

Generalmente gli strati più spessi mostrano da scarsa a discreta continuità laterale, mentre i livelli sottili, quando non erosi, si presentano abbastanza continui; i livelli sottili ma grossolani si presentano invece con una modestissima continuità, passando nello spazio di 30-40 m da pochi centimetri a mezzo metro di spessore. In questi intervalli più sottili sono state rinvenute strutture di fondo tipo «*groove cast*», con associata una probabile impronta di Elicolitus.

II - Sezione misurata sul versante destro del Botro Calignaia.

Questa sezione è stata misurata in corrispondenza dei livelli fossiliferi descritti da TAVANI (1954).

Nel suo insieme si può notare come la sezione presenti, dal basso verso l'alto, una notevole diminuzione dello spessore degli strati e della loro granulometria, tipica di una megasequenza posi-



Fig. 6 - Rappresentazione grafico-schematica delle sezioni misurate. Degne di nota sono le variazioni laterali di facies su distanze brevi (30 m) evidenziate dalla sezione n. 1 (vedi fig. 7) e la megasequenza positiva «fining upward» presente nella sezione n. 2.

tiva («*fining-upward*»); nella parte alta il rinnovato sviluppo di facies grossolane, anche se di entità minore rispetto a quelle sottostanti, potrebbe indicare il ripetersi della megasequenza. Gli strati più spessi e grossolani sono generalmente a scarsa continuità laterale e con base decisamente erosiva sottolineata da vistosi fenomeni di amalgamazione.

I due livelli contenenti i lamellibranchi sono costituiti da una marna siltosa grigiastra, priva di strutture sedimentarie, che riteniamo deposta in seguito ad un processo di colata («*mud flow*»).

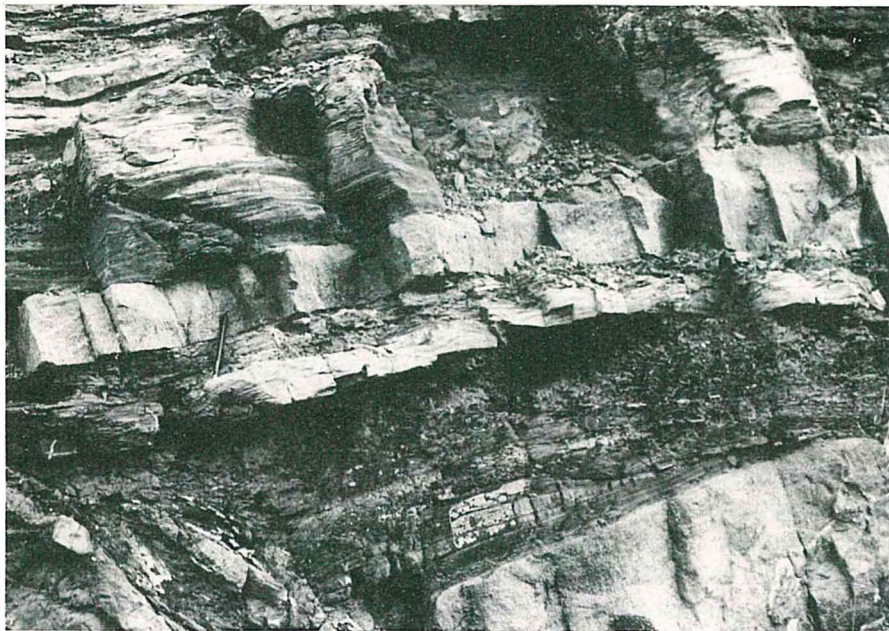


Fig. 7 - Cava di Calignaia, lato sinistro; particolare della sezione n. 1. Si notano le variazioni laterali di facies e le discordanze entro facies relativamente fini a destra in basso della foto.

CONCLUSIONI

Dall'insieme delle peculiari caratteristiche sedimentologiche osservabili nell'area esaminata, si ritiene di poter mettere in relazione la sedimentazione dell'arenaria di Calafuria con un ambiente di conoide sottomarina in facies canalizzata.

Infatti gli strati grossolani e spessi, con scarsa continuità laterale, caratterizzati da fenomeni di amalgamazione, possono essere assimilati alla facies A₁ di MUTTI e RICCI LUCCHI (1975), o comunque ad una transizione con la facies B₁. A quest'ultima possono essere ascritti quegli strati a granulometria inferiore mostranti lo sviluppo di strutture sedimentarie alla testa.

La facies C, corrispondente alla serie completa di BOUMA (1962), è presente in forma sporadica all'interno delle litofacies sottili, costituite prevalentemente da strati tipo D₁ e più raramente tipo E (strati grossolani sottili con scarsissima continuità laterale).

La associazione delle facies A₁ e B₁ rappresenta essenzialmente il deposito di canali all'interno di una conoide sottomarina, mentre le facies C, D₁ ed E costituiscono, a nostro avviso, un'associazione di argine e/o di intercanale.

Se dal punto di vista sedimentologico l'arenaria di Calafuria risulta sufficientemente caratterizzata, dei problemi tuttora sussistono per quanto riguarda l'inquadramento geologico regionale di questa formazione.

L'attribuzione di questa unità al Macigno della Falda Toscana è praticamente accettata dalla maggior parte degli Autori.

Rimangono da chiarire i rapporti stratigrafici tra questa unità, affiorante a Calafuria, e il Macigno s.s.

Gli affioramenti più occidentali, il cosiddetto Macigno Costiero, sono caratterizzati, come quello di Calafuria, dalla presenza di facies grossolane (MERLA, 1951; GIANNINI, 1955; GIANNELLI *et Al.*, 1965; GASPERI, 1968; BORTOLOTTI *et Al.*, 1970), probabilmente assimilabili ad associazioni di conoide prossimale.

Facies grossolane di conoide intermedia sono state riconosciute sporadicamente a Est e NE della costa, associate al tipico Macigno di ambiente più distale (ABBATE, 1969; BORTOLOTTI *et Al.*, 1970; VALLONI, 1978; GHIBAUDO, 1980; FERRINI e PANDELI, 1983).

Pur non potendo essere sostenuta da correlazioni stratigrafiche, la presenza di facies di conoide interna lungo la fascia costiera della Toscana indica la vicinanza di questa zona alla fonte di apporto, o perlomeno ai punti di entrata («*entry points*») nel bacino, cioè alla base scarpata. La distribuzione regionale della facies che ne deriverebbe è in contrasto con i dati delle paleocorrenti desunti dalla letteratura; questi indicano un apporto generalizzato dei clasti da NO verso SE.

Questo fenomeno potrebbe essere spiegato con una frammentazione originaria del bacino di sedimentazione del Macigno, peraltro già postulata da BORTOLOTTI *et Al.* (1970), unitamente ad una coalescenza tra differenti zone di apporto che, nel caso del Macigno Costiero, può essere messa in relazione alla presenza di una scarpata tettonica verso Ovest.

Ringraziamenti

Gli Autori intendono esprimere il loro riconoscimento al Chiar.mo Prof. Franco Ricci Lucchi dell'Università degli Studi di Bologna, per la lettura critica del manoscritto ed i preziosi suggerimenti.

Un ringraziamento va anche alla Dott.ssa Giampiera Bologna per la revisione linguistica del testo inglese.

BIBLIOGRAFIA

- ABBATE E. (1969) - Geologia delle Cinque Terre e dell'entroterra di Levante (Liguria Orientale). *Mem. Soc. Geol. It.*, **8**, 923-1014.
- BORTOLOTTI V., PASSERINI P., SAGRI M., SESTINI G. (1970) - The Miogeosynclinal Sequences. In: Development of the Northern Apennines Geosyncline. *Sediment. Geol.*, **4**, 341-444.
- BOUMA A.H. (1962) - Sedimentology of some flysch deposits, a graphic approach to facies interpretation. Elsevier, Amsterdam.
- CECIONI G. (1946) - Considerazioni su alcuni foraminiferi fossili del livornese. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Proc. Verb.*, **53**, 24-25.
- CONTI S., ANDRI E. (1966) - Sulla geologia dei Monti Livornesi e suoi riferimenti nel quadro più generale dell'Appennino Settentrionale. *Atti Ist. Geol. Univ. Genova*, **4** (2), 264-455.
- DALLAN NARDI L. (1968) - I microforaminiferi del «Macigno» di Calafuria (Monti Livornesi). *Boll. Soc. Geol. It.*, **87**, 611-621.
- FERRINI G., PANDELI E. (1983) - Le associazioni di facies torbiditiche nel Macigno dei Monti del Chianti. *Boll. Soc. Geol. It.*, **102**, 223-240.
- GASPERI G. (1968) - Geologia del promontorio di Piombino (Livorno). *Mem. Soc. Geol. It.*, **7**, 11-28.
- GHIBAUDO G. (1980) - Deep sea fan deposits in the Macigno Formation (middle-upper Oligocene) of the Gordana valley, Northern Apennines, Italy. *Journ. Sedim. Petrol.*, **50**, 723-742.
- GIANNELLI L., LAZZAROTTO A., MAZZANTI R. (1965) - Stratigrafia delle formazioni alloctone della Toscana marittima. 2 - Studio geologico e micropaleontologico di una sezione fra Sassetta e Monteverdi Marittimo (F. 119-Massa Marittima). *Boll. Soc. Geol. It.*, **84** (3), 1-54.

- GIANNINI E. (1955) - Geologia dei Monti di Campiglia Marittima (Livorno). *Boll. Soc. Geol. It.*, **74** (2), 219-296.
- HOWELL D.G., NORMARK W.R. (1982) - Sedimentology of Submarine Fans. In: Sandstone Depositional Environments. *Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, Tulsa, U.S.A.
- LOWE D.R. (1976) - Subaqueous liquefied and fluidized sediments flows and their deposits. *Sedimentology*, **23**, 285-308.
- MALATESTA A. (1954) - Note illustrative della Carta Geologica di Italia (F. 111-Livorno). Ministero Ind. e Commercio, Servizio Geologico, Roma.
- MANASSE E. (1905) - Cenni sul macigno di Calafuria e suoi minerali. *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem.*, Serie A, **21**, 159-167.
- MERLA G. (1951) - Geologia dell'Appennino Settentrionale. *Boll. Soc. Geol. It.*, **70**, 95-382.
- MIDDLETON G.V., HAMPTON M.A. (1973) - Sediment gravity flows: mechanics of flow and deposition. In: Turbidites and deep-water sedimentation, 1-38, *Soc. Econ. Paleont. Miner.*, Pacific Sec., Short Course Lecture Notes, Los Angeles, U.S.A.
- MUTTI E., RICCI LUCCHI F. (1972) - Le torbiditi dell'Appennino settentrionale: introduzione all'analisi di facies. *Mem. Soc. Geol. It.*, **11**, 161-199.
- MUTTI E., RICCI LUCCHI F. (1975) - Turbidite facies and facies associations. In: Examples of turbidite facies association from selected formations of the Northern Apennines, 21-36. Field trip guide A 11, IX Congr. Int. Sedim., Nizza.
- RICCI LUCCHI F. (1980) - Sedimentologia. Parte III, Ambienti sedimentari e facies. CLUEB, Bologna.
- RODOLICO F. (1942) - Brookite di Calafuria presso Livorno. *Per. Miner.*, **13**, 14-20.
- TAVANI G. (1954) - Fossili del macigno di Calafuria (Livorno). *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem.*, Serie A, **61**, 2-12.
- VALLONI R. (1978) - Provenienza e storia post-deposizionale del Macigno di Pontremoli (Massa). *Boll. Soc. Geol. It.*, **97**, 317-326.

(ms. pres. il 31 luglio 1984; ult. bozze il 31 dicembre 1984)