

V. PASCUCCI (*), F. SANDRELLI (*)

EVOLUZIONE PALEOGEOGRAFICA DELL'AREA DI FROSINI, SETTORE MERIDIONALE DEL BACINO DI RADICONDOLI NEL TORTONIANO SUPERIORE (TOSCANA, ITALIA) (**)

Riassunto - L'area di Frosini è ubicata nel settore orientale del Bacino di Radicondoli-Chiusdino, che rappresenta la prosecuzione verso Sud del Bacino di Volterra. Il bordo orientale di questa depressione, parallela alla Dorsale medio toscana, è caratterizzato da faglie bordiere, attive dal Miocene superiore, a direzione appenninica intersecate da altre a direzione antiappenninica. Queste ultime possono essere interpretate come faglie di trasferimento.

Lo studio è stato condotto sui numerosi livelli di conglomerato (Conglomerati di M.te Soldano) intercalati all'interno della formazione lacustre delle Argille del Torrente Foschi, del Tortoniano superiore. In questi sono state riconosciute 5 facies sedimentarie principali: a) conglomerati grossolani a *pebbles* e *cobbles* dominanti; b) conglomerati medi organizzati a *pebbles* dominanti; c) conglomerati fini; d) arenarie con ciottoli; e) arenarie. La distribuzione verticale e laterale di queste facies è relativa a dei complessi di conoide alluvionale (*alluvial fan complexes*) che si gettavano in un lago la cui sedimentazione normale era quella argillosa. L'analisi degli indicatori di paleocorrente indica la presenza di due *alluvial fan complexes* aventi direzioni di sviluppo circa opposte e circa parallele alla direzione (appenninica) delle faglie principali. I due complessi si sarebbero sviluppati in corrispondenza dell'intersezione tra faglie a direzione antiappenninica ed appenninica come è già stato evidenziato in aree più settentrionali (M.te Soldano). Tale condizione avrebbe permesso lo sviluppo di un drenaggio adeguato alla formazione di conoide alluvionali di discrete dimensioni.

Parole chiave - Conoide alluvionale, facies sedimentaria, Tortoniano superiore.

Abstract - *Upper Tortonian palaeogeographic evolution of the Frosini area, southern sector of Radicondoli Basin (Tuscany, Italy).* The Neoaethocionous Miocene basins of the Northern Apennines Tyrrhenian side were formed as a result of the extensional regime that acted in this area since the early Miocene. The Frosini area is located in the Radicondoli-Chiusdino basin, which is a southward extension of the Volterra Basin (Fig. 2). Previous studies in northern areas (M.te Soldano, Martini et al., 1995) demonstrated that large alluvial fan complexes developed in correspondence with fault intersections. Our studies are directed to the eastern side of the Radicondoli-Chiusdino basin, where apenninic faults (border faults) are intersected with antiappenninic faults (possibly transfer faults) and where conglomerate bodies (in lenses) are well defined in outcrop. The geological map (Fig. 3) analysis shows that the upper Tortonian-lower Messinian sediments in the Frosini area are characterized by the alternation of conglomerate lenses with lacustrine clay.

Five sedimentary facies in the conglomerate bodies were recognized (Figs. 4 and 5).

a) Coarse conglomerates with pebbles and cobbles (Cpc).

They are poorly organized, coarse, clast-supported, conglomerates with pebbles and cobbles in the same proportion and coarse sand matrix. The clasts range from sub to moderately well rounded and reach the maximum dimension of 19x6x7. They derive from carbonates, sandstones and dolomites of the Ligurian Units and Falda Toscana Unit. Paleocurrent measurements from clast imbrication indicate two paleoflow directions: in the P.gio S. Piero area they range from N100 to 120, toward NW; in that of Pod. Vespero, the direction is about N150 toward SSE. They can be interpreted as the transitional deposits from not-channelized debris flow deposits and the channelized parts of a braided stream system.

b) Medium Conglomerate with dominant pebbles (Cpo). They are channelized and organized conglomerates with a predominance of pebbles and coarse to fine sand matrix. The clasts are moderately well rounded, with the same lithology of the Cpc facies and reach the maximum dimension of 12x10x3 for the cobbles and 5x3.5x2 for the pebbles. A well developed trough cross bed stratification and cut and fill structures may also occur. Paleocurrent measurements from clast imbrication and channel direction indicate two paleoflow directions: in the P.gio S. Piero area they range from N100 and 120 toward NW; in that of Pod. Vespero about N140 toward SSE. They can be interpreted as braided stream Scott type deposits.

c) Fine conglomerate (Cn). They are organized conglomerate with predominance of granules. Clasts lithology are the same of the Cpc facies. Cross stratification is present. This facies can be interpreted as a fluvial deposit formed for the most part by poorly or shallowly channelized overland flows in a braided stream system.

d) Pebbles sandstone (Sp). This facies is characterized by coarse to medium grained, well cemented (calcareous cement) sandstone with sparse pebbles. Paleocurrent measurements from clast imbrication in pebble clusters indicate two paleoflow directions: in the P.gio S. Piero area they range from N90 to 100, toward WNW; in that of Pod. Vespero the direction is about N150 toward SSE.

This facies can be interpreted as an alluvial plain deposit or as the transitional sediments between the costal and fluvial deposits.

e) Sandstone (S). This facies is characterized by coarse to fine grained, yellowish brown, well cemented (calcareous cement) sandstone, with planar lamination. This facies can be interpreted as a costal deposit.

The vertical (fining upward) and lateral distribution of the sedimentary facies (Figs. 2 and 3) indicates the presence of an alluvial fan complex. Several parts of the fan are well defined:

a) proximal-intermediate poorly channelized area (facies Ccp);

b) midfan braided zone (facies Cpo and Cn);

c) transitional or distal alluvial plain zone (facies Sp);

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Siena, Via delle Cerchia, 3 - 53100 Siena, Italy.

(**) Lavoro eseguito con il contributo C.N.R. 9500354 (tit. Prof. A. Lazzarotto) e M.U.R.S.T. 60% (tit. Prof. F. Sandrelli).

d) costal (facies S).

Paleocurrent indicators show the presence of two paleoflow directions.

The data exposed indicate the presence of two alluvial fan complexes merging into a lake characterized by clay deposits during the early stages of formation of the Radicondoli-Chiusdino Basin (upper Tortonian-lower Messinian).

According to the model proposed by Martini *et al.*, (1995) in the M.te Soldano area, and with observation of the actual situation (Fig. 1) the development of large alluvial fan complexes could be related to the presence of faults intersections. Therefore, the paleogeographic model that we propose for the Frosini area is that on Fig. 6. On the basis of this observation we suggest two conclusions:

- 1) the presence of alluvial fan complexes in the Volterra-Radicondoli-Chiusdino Basin has to be related to the intersection of faults;
- 2) the alternating clay and conglomerate in the Frosini area has to be related to the faults movement.

Key words - Alluvial fan complex, sedimentary facies, upper Tortonian.

INTRODUZIONE

L'evoluzione dei bacini sedimentari neautoctoni indi-

viduatisi durante il Miocene, nel versante Tirrenico dell'Appennino Settentrionale è, per gran parte degli Autori, conseguente allo sviluppo di un regime tettonico estensionale (ad es. Trevisan, 1952; Giglia, 1974; Elter *et al.*, 1975; Zitellini *et al.*, 1986; Bartole, 1990; Bossio *et al.*, 1992 a, b, c; Martini e Sagri, 1993; Elter e Sandrelli, 1994, Lazzarotto *et al.*, in stampa; Martini e Sagri, in stampa). Lo studio delle relazioni tra tettonica e sedimentazione costituisce un campo di lavoro di alcuni ricercatori dell'Università di Siena, i cui risultati sono riportati in varie note che, spesso partendo da rilevamenti geologici di dettaglio, si sono completate con studi stratigrafici, paleogeografici e strutturali (tra i più recenti: Lazzarotto e Mazzanti, 1977; Bartolini *et al.*, 1982; Gandin e Sandrelli, 1992; Bossio *et al.*, 1992 a, b, c; Bossio *et al.*, 1993; Bossio *et al.*, 1994 a, b; Bossio *et al.*, 1995; Martini *et al.*, 1995; Lazzarotto *et al.*, in stampa; Bossio *et al.*, in stampa a, b, c). La ricerca nell'area a NW di Frosini rappresenta un contributo allo studio di tali relazioni ed in particolare tra l'evoluzione della Dorsale medio toscana e la sedimentazione, nel Tortoniano superiore, dei depositi fluvio-lacustri nell'adiacente Bacino di Radicondoli-Chiusdino. Tale argomento è stato già affrontato in aree più settentrionali come quella della

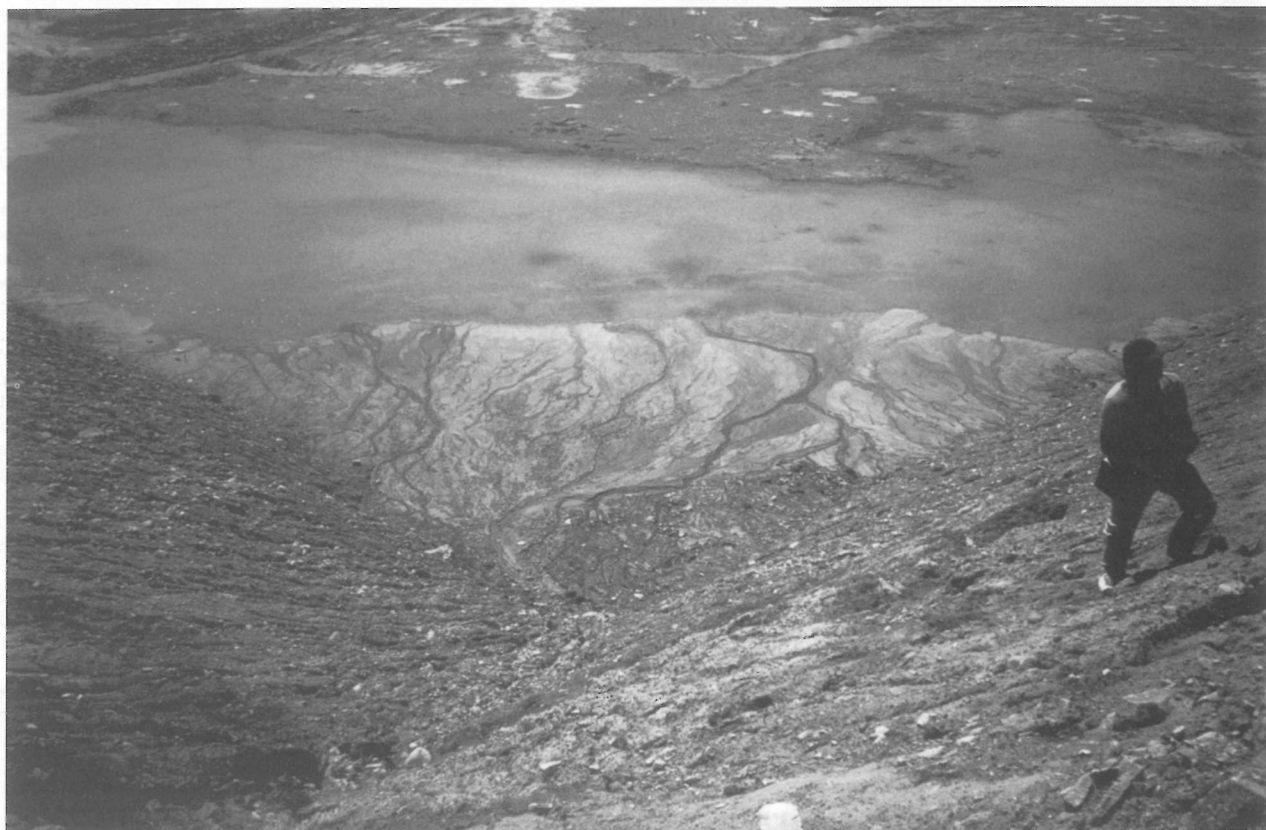


Fig. 1 - Sviluppo di conoidi alluvionali lungo le ripide pareti di una cava; queste possono essere paragonate a faglie. La foto evidenzia che: dove le pareti sono tra loro ortogonali si sviluppano coni alluvionali di notevoli dimensioni; lungo le pareti, invece, si sviluppano conoidi di modesta entità.

Fig. 1 - Alluvial fans development along quarry walls, that can be related with faults. The photo shows as only where there is wall normal intersection large alluvial fan occurs.

Spicchiaiola (Bossio *et al.*, 1994; Bossio *et al.*, in stampa a, c) e di M.te Soldano (Pascucci, 1995; Martini *et al.*, 1995). In quest'ultima località la massiccia presenza di corpi conglomeratici è stata messa in relazione allo sviluppo di un *alluvial fan* collegabile alla presenza di faglie tra loro ortogonali, in accordo con quanto già proposto per l'Appennino Meridionale da Gawthorpe e Colella (1990) e per altre aree da Leeder e Gawthorpe (1987). Gli autori considerano la giunzione di faglie tra loro circa ortogonali come potenziale condotto per i sedimenti verso il bacino. Tale processo è stato ben osservato durante la visita di una cava, dove è stato verificato che *alluvial fans* di grosse dimensioni si impostano soltanto all'incrocio di scarpate tra loro ortogonali, mentre lungo le stesse si hanno sporadici piccoli conoidi alluvionali (Fig. 1).

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di Frosini (Fig. 2) è collocata nel settore orienta-

le del Bacino di Radicondoli-Chiusdino che rappresenta la naturale prosecuzione verso Sud del Bacino di Volterra. Lungo il bordo orientale di questa marcata depressione (comprendente i due bacini) che corre parallela alla Dorsale medio toscana si attivavano nel Miocene superiore faglie bordiere (o fasci di faglie), a direzione appenninica, interrotte da altre ad esse normali (Bossio *et al.*, in stampa a, c) ed interpretate da alcuni autori come *transfer faults* (Liotta, 1992). Conseguentemente all'attivazione di queste faglie, si aveva uno sviluppo articolato delle scarpate che separavano l'alto morfologico (Dorsale medio toscana che si andava ad identificare) dalle aree di bacino; la paleomorfologia miocenica doveva quindi essere caratterizzata da golfi e promontori di origine tettonica.

Le unità litostratigrafiche affioranti a nell'area NW di Frosini, i cui rapporti sono indicati in Fig. 3, appartengono al Complesso Ligure, costituito prevalentemente da Argille a Palombini ed al Complesso Neoautoctono, rappresentato da più formazioni mio-plioceniche: Argille del Torrente Fosci, Argille del Fiume Era

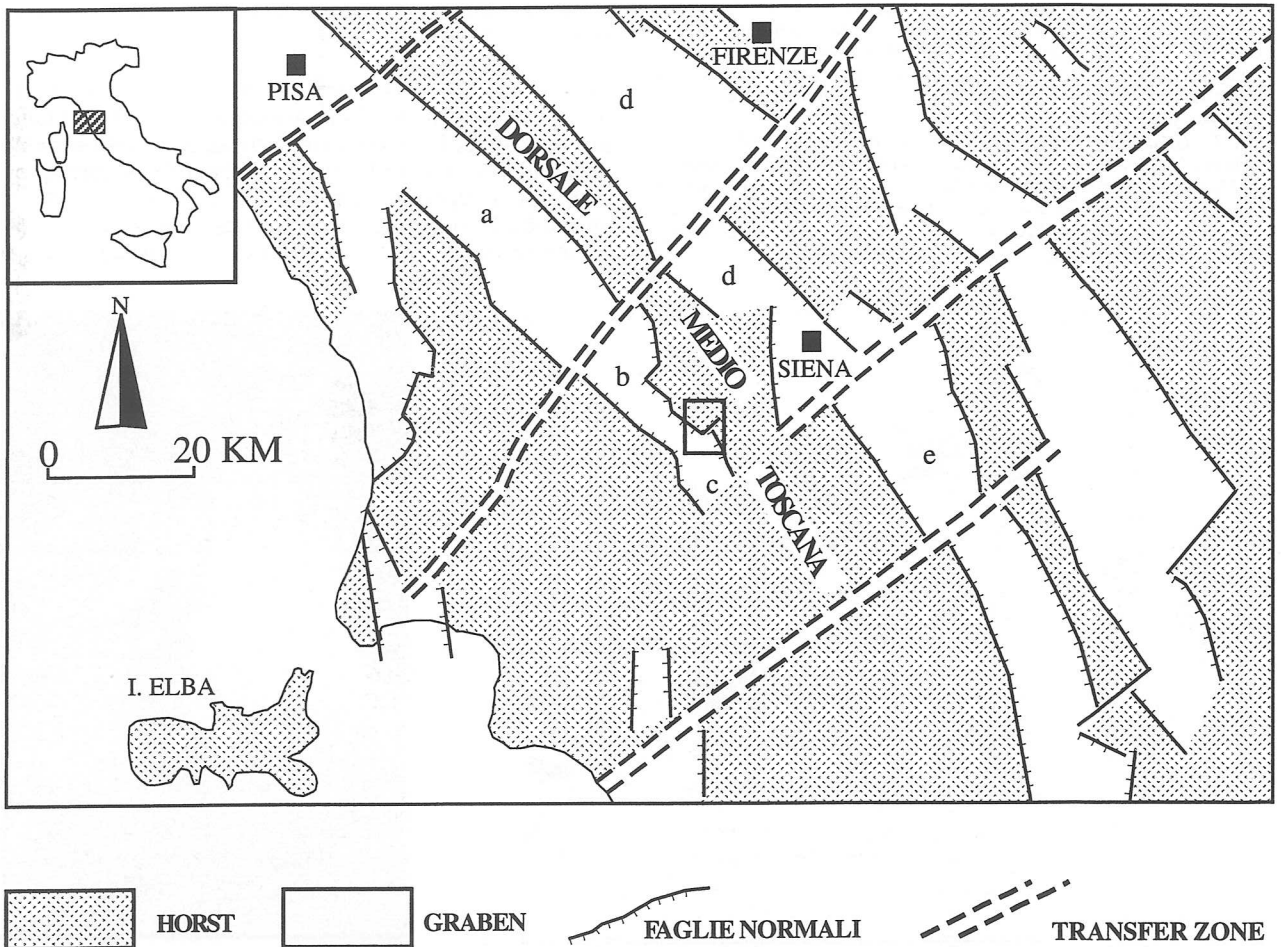


Fig. 2 - Bacini estensionali del versante tirrenico dell'Appennino Settentrionale: a) Bacino di Volterra; b) Bacino di Radicondoli; c) Bacino di Chiusdino; d) Bacino della Val d'Elsa; e) Bacino di Siena.

Fig. 2 - Extensional basins of the Northern Apennines Tyrrhenian side: a) Volterra Basin; b) Radicondoli Basin; c) Chiusdino Basin; d) Val d'Elsa Basin; e) Siena Basin.

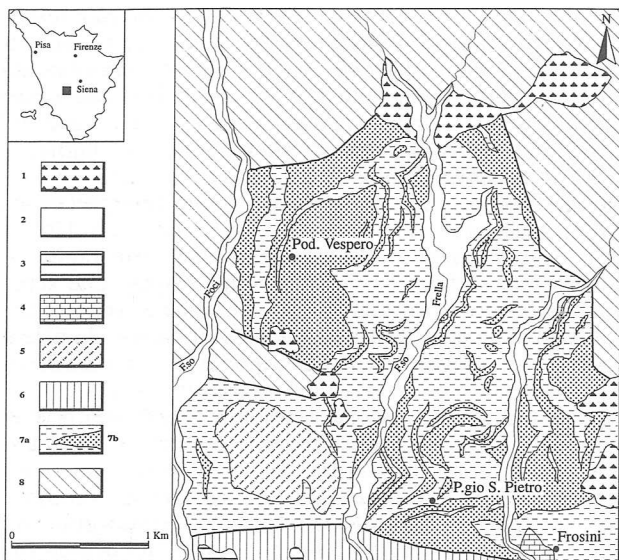


Fig. 3 - Schema geologico dell'area di Frosini. 1) Detriti; 2) Alluvioni; 3) Alluvioni terrazzate; 4) Depositi del Pliocene medio; 5) depositi del Messiniano; 6a) Formazione delle Argille del Torrente Fosci (Tortoniano superiore-Messiniano inferiore); 6b) Conglomerati di M.te Soldano (Tortoniano superiore); 7) Substrato preneautoctono; 8) Faglie. (Da Salvini e Sandrelli, rilevamenti geologici inediti).

Fig. 3 - Geological map of the West area of Frosini: 1) 2) Alluvial deposits; 3) Terraces alluvial deposits; 4) Middle Pliocene deposits; 5) Messinian deposits; 6a) Argille del Torrente Fosci Formation (upper Tortonian-lower Messinian); 6b) M.te Soldano Conglomerates (upper Tortonian); 7) Bedrock; 8) Faults. (After Salvini and Sandrelli, new studies).

Morta, Breccia di Grotti, Conglomerati di M.te Capino. Per una completa trattazione sulle caratteristiche litologiche delle singole formazioni, si rimanda ai lavori specifici (Signorini, 1966; AA.VV., 1969; Bossio *et al.*, 1992 c; Bossio *et al.*, in stampa, *b cum bibl.*) in relazione agli affioramenti delle Argille del Torrente Fosci, ci limitiamo a ricordare i soli caratteri essenziali: si tratta di argille prevalentemente massicce, a cui si intercalano frequenti livelli lentiformi di arenarie e conglomerati; le arenarie sono generalmente a grana medio-fine e si accompagnano talvolta a piccoli ciottoli millimetrici; i conglomerati sono costituiti da clasti con dimensione media di 6 cm, sempre ben elaborati, essenzialmente carbonatici e a matrice arenacea. Frequentemente, nell'area a NW di Frosini, i livelli conglomeratici sono ben sviluppati (> di 10 m), tanto da essere cartografabili; analogamente a quanto già studiato nelle aree più settentrionali a ESE di Volterra, questi ultimi vengono indicati come conglomerati di M.te Soldano (Pascucci, 1995; Martini *et al.*, 1995).

DESCRIZIONE DELLE FACIES SEDIMENTARIE DEL CONGLOMERATO DI M.TE SOLDANO

Sono stati condotti studi sedimentologici in alcuni livelli lentiformi del Conglomerato di M.te Soldano; in particolare, le osservazioni riguardano affioramenti posti sul versante ad W di Pod. Vespero e in corrispondenza di sviluppate scarpate a NW di P.gio S. Piero. In entrambe le aree sono state riconosciute 5 facies sedimentarie (Figg. 4, 5). Per la descrizione dei ciottoli

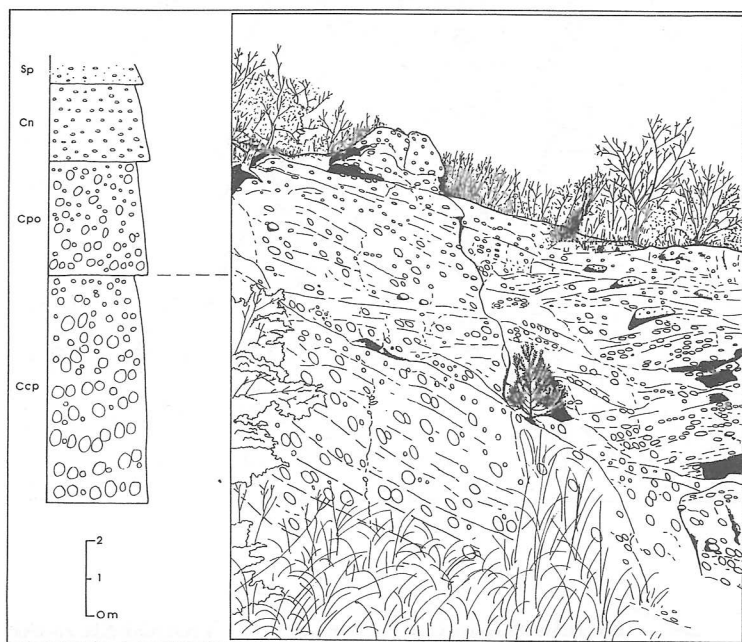
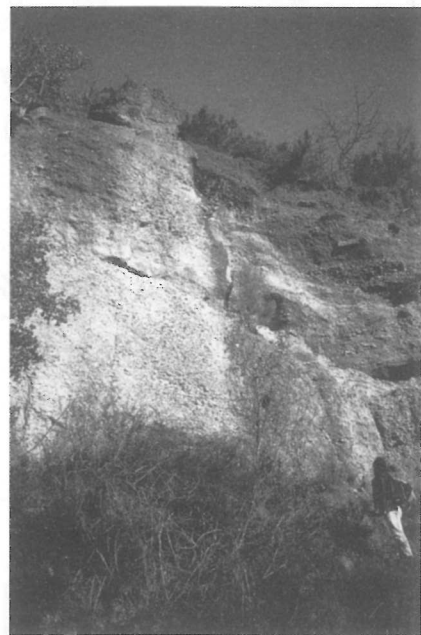


Fig. 4 - Ricostruzione verticale della distribuzione delle facies presenti nell'area di P.gio S. Piero. Cpc, conglomerati grossolani a pebbles e cobbles dominanti; Cpo, conglomerati medi organizzati a pebbles dominanti; Cn, conglomerati fini; Sp, arenarie con ciottoli.

Fig. 4 - Vertical reconstruction of the facies distribution of P.gio S. Piero area. Cpc, coarse conglomerate with prevalence of pebbles and cobbles; Cpo, medium organized conglomerates with prevalence of pebbles; Cn, fine conglomerates; Sp, sandstone with pebbles.



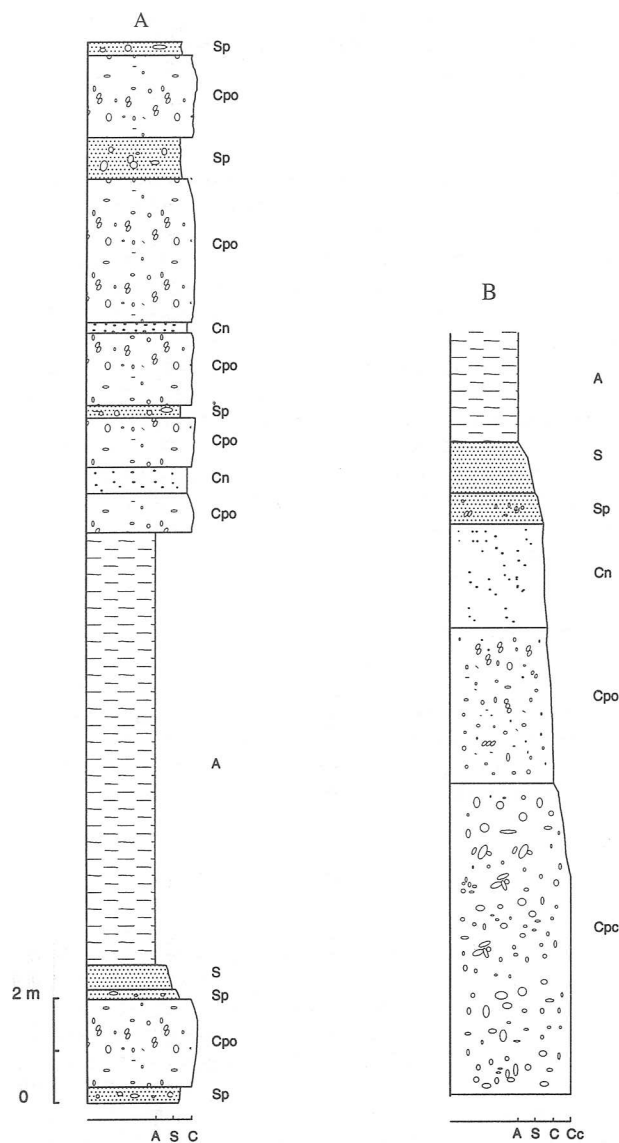


Fig. 5 - Distribuzione verticale delle facies nell'area di Pod. Vespero (A) e P.gio S. Piero (B). Ccp, conglomerati grossolani a *pebbles* e *cobbles* dominanti; Cpo, conglomerati medi organizzati a *pebbles* dominanti; Cn, conglomerati fini; Sp, arenarie con ciottoli; S, arenarie; A, argille.

Fig. 5 - Vertical facies distribution of: A) Pod. Vespero; B) P.gio S. Piero. Cpc, coarse conglomerates with prevalence of pebbles and cobbles; Cpo, medium organized conglomerates with prevalence of pebbles; Cn, fine conglomerates; Sp, sandstone with pebbles; S, sandstone; A, clay.

caratterizzanti le varie facies, verrà fatto uso della nomenclatura anglosassone che, a giudizio degli scrittori, meglio definisce le varie classi dei ciottoli: *granules*, 2-4 mm; *pebbles*, 4-64 mm; *cobbles*, 64-256 mm.

1) Conglomerato grossolano poco organizzato (Cpc).

Questa facies è caratterizzata da un conglomerato

poco organizzato, *clast-supported*, grossolano, non classato, a *cobbles* dominanti, in strati amalgamati. Il conglomerato raggiunge lo spessore massimo di circa 6 m nella sezione di Pod. Vespero. Le dimensioni dei ciottoli sono comprese tra la classe *pebbles* e quella *cobbles*, le massime sono di 19x6x7 cm. La matrice è arenacea, con grana generalmente da grossolana a media. Localmente dispersi nella matrice si possono trovare anche dei *granules*.

I ciottoli sono da subarrotondati ad arrotondati, con forma variabile da subsferica ad ellittica. Talvolta sono presenti *pebble-clusters* nei quali è possibile osservare l'embriciatura che permette di determinare le direzioni di paleocorrente. I ciottoli sono prevalentemente costituiti da clasti di calcari e calcareniti ed in modo subordinato da diaspri, ofioliti, dolomie grigie e calcari cavernosi, provenienti da formazioni delle Unità Liguri e della Falda Toscana.

Ortagonale alla direzione della paleocorrente è a tratti sviluppata una struttura a canali sovrapposti con motivi del tipo *cut and fill* e stratificazione *trough cross beds*. Nella pareti longitudinali a tale direzione è talvolta possibile apprezzare una stratificazione piano parallela debolmente inclinata. Dove i singoli canali sono ben sviluppati, è possibile osservare verso l'alto una blanda diminuzione delle dimensioni dei ciottoli (gradazione diretta). Localmente si possono trovare anche livelli di conglomerato poco organizzato, nei quali è impossibile riconoscere una orientazione preferenziale dei ciottoli e l'embriciatura. Lo spessore dei canali varia da 10 -15 cm a 50 cm.

Le misure di paleocorrente indicano la presenza di due direzioni circa contrapposte dei paleoflussi: nella zona di P.gio S. Piero queste sono comprese tra N100 e N120 e sono dirette verso NW; in quella di Pod. Vespero è circa N150 e diretta verso SE.

Questa facies può essere interpretata come indicativa di depositi fluviali di transizione tra quelli non canalizzati tipo debris flow e quelli canalizzati di un sistema fluviale del tipo *braided* (Bardaji et al., 1990; Saggi et al., 1994; Martini et al., 1995).

2) Conglomerato medio organizzato (Cpo).

Questa facies è caratterizzata da conglomerati gradati con *pebbles* dominanti, ai quali si alternano livelli di *pebbles* e *cobbles* in uguali proporzioni; di norma, lo spessore dei primi varia tra i 10 ed i 20 cm, quello dei secondi tra 15 e 40 cm.

I ciottoli hanno forma da subarrotondata ad arrotondata e giacciono generalmente paralleli alla superficie deposizionale. La loro composizione è del tutto analoga a quella descritta nella facies Cpc. Le dimensioni massime dei ciottoli sono di 12x10x3 per i *cobbles* e di 5x3.5x2 per i *pebbles*.

Nelle sezioni parallele alla direzione di paleocorrente è visibile una stratificazione piano parallela debolmente inclinata, mentre su quelle ortogonali è ben sviluppata una stratificazione del tipo *trough cross beds*. Talvolta, alla base dei canali, è presente dell'argilla sabbiosa grigia. Lo spessore massimo dei canali è di circa 40 cm.

Le direzioni di paleocorrente, ottenute misurando l'o-

rientazione dei canali e quella dei ciottoli nei *pebble-cluster*, è risultata N120 verso NW nel sito ad W di P.gio S. Piero, mentre in quello ad W di Pod. Vespero di N140 verso SE.

Questa facies è tipica di sedimenti trasportati sul fondo di canali poco profondi in un ambiente di tipo *braided* (Kazanci, 1990; Hwang e Chough, 1990; Bardaji *et al.*, 1990; Sagri *et al.*, 1994; Martini *et al.*, 1995; Orton, 1995). In accordo con il modello di Miall (1977) questo sarebbe un deposito di *braided stream* tipo Scott.

3) *Conglomerati fini (Cn).*

Questa facies è caratterizzata da un conglomerato fine (micro-conglomerato), canalizzato con strati gradati dello spessore massimo di 40 cm. I ciottoli sono per la maggior parte compresi all'interno della classe *granule*. Si rinvengono *pebbles* dispersi di dimensioni massime 2x2x1.5 cm. I *granules* hanno forma da subarrotondata ad arrotondata e sono costituiti prevalentemente da calcari e calcareniti, subordinatamente da diaspri, ofioliti, dolomie grigie, calcari cavernosi e rare quarziti (riferite al Gruppo del Verrucano), provenienti dalle formazioni delle unità Liguri e Toscane.

La matrice del conglomerato fine è costituita da arenaria a grana da grossolana a media.

Nelle sezioni parallele alla direzione della paleocorrente si osserva una blanda gradazione inversa e laminazione incrociata, con *foreset* inclinati verso W. Localmente sono presenti anche strati con laminazione piano-parallela.

Questa facies è interpretabile come un deposito formatosi per la maggior parte in aree intercanale in cui si sviluppavano canali poco profondi (Martini *et al.*, 1995); non si esclude però la presenza di *overland flows*, conseguenti a piene eccezionali.

4) *Arenaria con ciottoli (Sp).*

Questa facies è caratterizzata da arenarie quarzoso-feldspatiche grigie, ben cementate, a cemento carbonatico e contenenti ciottoli dispersi. Sono generalmente massicce ed organizzate in strati dello spessore medio di 30 cm, caratterizzati da una buona continuità laterale (anche oltre 10 m). La grana varia da grossolana a media e la gradazione degli strati può essere sia diretta che inversa, a seconda della facies a cui passano verticalmente (che può essere la Cpo o la S). Raramente è possibile notare una laminazione piano-parallela.

I ciottoli, generalmente arrotondati, hanno dimensioni comprese tra i *granules* ed i *pebbles* e presentano caratteristiche litologiche analoghe a quelle dei conglomerati già descritti nella facies Cpc.

Le misure di paleocorrente indicano una direzione dei paleoflussi da E verso W a P.gio S. Piero, mentre a Pod. Vespero questi hanno una direzione opposta, cioè da W verso E.

Questa facies può essere interpretata come un deposito di piana alluvionale o di *overbank* (Miall, 1992), comunque non canalizzato. Le evidenze sedimentarie non permettono di fare ulteriori considerazioni; è sup-

ponibile comunque, anche per la sua posizione stratigrafica (Fig. 5), che si tratti di un deposito di transizione a quelli costieri.

5) *Arenaria (S).*

Questa facies è caratterizzata da arenarie quarzoso-feldspatiche a cemento carbonatico di colore variabile da grigio-giallastro a ocra.

Sono di norma organizzate in strati a gradazione, diretta che raggiungono spessori massimi di 1 m, all'interno dei quali è spesso apprezzabile una granulometria variabile da grossolana a fine: nella porzione medio-fine è visibile una laminazione piano-parallela orizzontale, evidenziata dall'accumulo di sostanze carboniose; in quella grossolana si evidenziano localmente livelli ocrei con associati ciottoli calcarei ed arenacei, provenienti dalle Unità Liguri e di dimensioni massime 3x1x0.5 cm. L'arenaria passa gradualmente verso l'alto ad argilla che può contenere nella porzione inferiore ciottoli (della classe *pebbles*) dispersi.

Questa facies può essere interpretata come un deposito di spiaggia o comunque di acque poco profonde. Poche sono le evidenze che permettano di avvalorare questa ipotesi; tuttavia il confronto con situazioni analoghe avvalorano questo tipo di interpretazione (Bardaji *et al.*, 1990; Dabrio, 1990). I ciottoli (molto appiattiti), dispersi all'interno dei sedimenti più grossolani, potrebbero rappresentare dei *sand-traps*, o del materiale trasportato in sospensione.

DISCUSSIONE DEI DATI E CONSIDERAZIONI SULLA PALEO-GEOGRAFIA

L'analisi della carta geologica di Figura 3 evidenzia come i livelli di conglomerato dell'area di Pod. Vespero diminuiscano di spessore da W verso E. Le misure di paleocorrente mostrano un diverso sviluppo dei paleoflussi nell'area di Pod. Vespero ed in quella di P.gio S. Piero indicando che i corpi conglomeratici appartengono a due diversi complessi deposizionali. Nei due siti, infatti, è stata rilevata una direzione circa WNW-ESE ma verso opposto. Nel primo sito si hanno infatti ripetute evidenze di embriatura indicanti un senso di flusso verso quadranti orientali, mentre nel secondo sono frequenti quelle indicanti quadranti occidentali. La stessa natura dei ciottoli dà utili indicazioni sulle loro aree di provenienza; il rinvenimento di quarziti riferibili al Gruppo del Verrucano (presente in affioramento nelle aree più orientali della Dorsale Medio Toscana) unicamente nel sito di P.gio S. Piero, conferma per questa zona una provenienza dei clasti da SSE.

L'analisi delle facies condotta a Pod. Vespero ed a P.gio S. Piero (Fig. 4, 5) indica come all'interno di ogni livello conglomeratico vi sia un progressivo cambiamento di associazioni litologiche verso l'alto. Alla base della successione sono presenti i conglomerati grossolani (Cpc), in quella intermedia si hanno conglomerati medi (Cpo) alternati con i conglomerati fini (Cn) ed infine in quella superiore arenarie (S) e arenarie con ciottoli (Sp) alternate ai conglomerati medi

(Cpo) o ai conglomerati fini (Cn). Questa successione, caratterizzata da sviluppo laterale lenticolare, è indicativa di depositi di *alluvial fan* (conoide alluvionale). Nelle Figg. 4, 5, dove sono indicate le varie facies, vengono evidenziate le zone che costituiscono l'apparato di ogni singolo conoide alluvionale:

- a) Una zona intermedio-prossimale poco canalizzata (facies Cpc);
- b) Una zona intermedia caratterizzata da alternanze di: depositi canalizzati (facies Cpo) e depositi di aree intercanale o *overland deposit* (facies Cn)
- d) Una zona di transizione (facies Sp) al limite tra l'ambiente subaereo e quello subacqueo;
- c) Una zona caratterizzata da depositi di spiaggia o di acque poco profonde (facies S).

Di ogni singolo *fan* è ben conservata la porzione intermedia e distale, assente è invece quella prossimale; non sono infatti stati riconosciuti conglomerati prossimali o facies riconducibili prevalentemente a *debris flow*, peraltro individuati in depositi analoghi affioranti nell'area di M.te Soldano (Martini *et al.*, 1995). A differenza da quest'ultima area, qui invece è presente spesso una facies sabbiosa al tetto della successione conglomeratica. Questa rappresenterebbe la parte di transizione tra la zona *braided* del conoide e la zona poco profonda del lago. La presenza di sabbie anche se di limitato spessore, relativa ad una zona di costa può essere indicativa sia di una alta energia del lago, in grado di rielaborare i sedimenti fluviali, sia di una bassa velocità di progradazione del *fan* verso il lago.

In conclusione, nell'area di Frosini erano presenti due complessi di conoide alluvionale che si gettavano in un lago relativamente profondo, da due direzioni opposte, ubicate rispettivamente circa a ESE di P.gio S. Piero e WNW di Pod. Vespero.

Alluvial fans con analoghe caratteristiche di quelli dell'area a Nord di Frosini, sono stati riconosciuti da Sagri *et al.* (1994) nell'area a E di Montecastelli (porzione settentrionale del Bacino di Radicondoli) e da Martini *et al.* (1995) nell'area del M.te Soldano (parte sud-orientale del Bacino di Volterra). I primi Autori li collegano all'attività di faglie bordiere; i secondi precisano che l'*alluvial fan* di grosse dimensioni di M.te Soldano è conseguente all'attivazione di due faglie tra loro ortogonali.

La successione di facies riconosciute a Frosini ed a M.te Soldano sono molto simili; la costante mancanza dei conglomerati disorganizzati alla base, nell'area di Frosini, può essere in gran parte riferita ad una peggiore conservazione dell'apparato e/o ad un minore sviluppo dello stesso e quindi della scarpata ad esso collegata. Quest'ultima considerazione potrebbe giustificare anche la presenza della facies sabbiosa costiera, che si sarebbe sviluppata appunto soltanto nell'area di Frosini, dove dislivelli minori imponevano una velocità di sedimentazione minore e quindi permettevano al lago una maggiore elaborazione dei sedimenti. La realizzazione di *alluvial fans* in corrispondenza di faglie tra loro ortogonali, anche a seguito di osservazioni di situazioni attuali (quale quella proposta in Fig. 1), ci appare ancora più realistica tenendo conto del limitato sviluppo del bacino idrografico dal quale proveniva il materiale più grossolano. Tale area, collocan-

dosi infatti in un settore della Dorsale Medio Toscana che si andava ad identificare come un alto morfologico durante il Miocene superiore, tra due depressioni tettoniche importanti quali quelle della Val d'Elsa-Siena e di Volterra-Chiusdino, doveva presentare un rilievo giovane e sviluppo trasversale limitato.

Per quanto sopra esposto, ci appare quindi altamente probabile la corrispondenza tra faglie sinsedimentarie fra loro ortogonali ed *alluvial fans* ben sviluppati. L'area a Nord di Frosini, dove si hanno *alluvial fans* a sviluppo circa opposto ed ortogonali all'asse del bacino, sarebbe quindi da mettere in relazione alla geometria articolata del bordo orientale di questo bacino. Geometria conseguente all'intersezione di faglie appenniniche ed antiappenniniche secondo lo schema proposto in Figura 6.

Un'ultima considerazione riguarda il significato delle alternanze dei livelli di conglomerato e di argille (Fig. 3) evidenziate dal rilevamento di campagna. Queste alternanze possono essere interpretabili o come dovute alle oscillazioni del livello relativo del lago, conseguenti a variazioni climatiche, o come conseguenza dei periodi di attività della faglia bordiera. Tenendo però conto dello spessore dei sedimenti del Tortoniano superiore riconosciuti nell'area di Frosini (circa 300 m), ci sembra verosimile ritenere che i corpi conglomeratici siano in gran parte da riferire a periodi di attività di faglie bordiere durante il Tortoniano superiore. I momenti in cui la faglia si attivava, innescavano nuovi processi erosivi che permettevano la progradazione di cono alluvionali sui sedimenti argillosi lacustri, rappresentanti la normalità della sedimentazione.

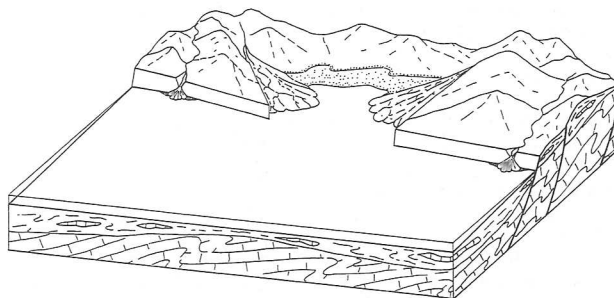


Fig. 6 - Modello paleogeografico dell'area di Frosini al Tortoniano superiore. La geometria articolata del bordo orientale del Bacino di Radicondoli-Chiusdino, conseguente all'intersezione di faglie appenniniche e antiappenniniche, favorisce lo sviluppo di *alluvial fans*.

Fig. 6 - Paleogeographic model of the Frosini area at the upper Tortonian. The intersection between apenines and antiapenines faults allows *alluvial fan* complexes development.

CONCLUSIONI

1. Le osservazioni sedimentologiche e la mappatura dei corpi conglomeratici, hanno dimostrato nell'area di Frosini, settore meridionale del Bacino di Radicondoli, la presenza di due *alluvial fans complexes* sviluppatisi in un arco di tempo compreso tra il Tortoniano superiore ed il Messiniano inferiore.

2. Questi complessi sono caratterizzati da a) un *fan* subaereo composto da: una facies di transizione tra quella prossimale e quella intermedia, costituita da conglomerati poco organizzati formati da rari *debris flow* e corpi poco canalizzati; una facies intermedia caratterizzata da un ben sviluppato sistema *braided* passante gradualmente, attraverso una facies di transizione, ad una costiera di spiaggia; b) un sistema lacustre subacqueo caratterizzato da: i) una zona di lago poco profonda, nella quale depositavano le sabbie; ii) una zona lacustre relativamente profonda caratterizzata da sedimentazione argillosa.

3. I due complessi di conoide alluvionale sono ritenuti impostati all'intersezione di faglie tra loro ortogonali.

4. La presenza ai bordi della Dorsale medio toscana di *alluvial fans* potrebbe essere determinata, quindi, non tanto dalle dimensioni del bacino idrografico (che in considerazione della paleogeografia miocenica doveva essere ridotto), quanto dalla geometria più o meno articolata delle faglie bordiere.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Prof. I. P. Martini dell'Università di Guelph (Guelph, Ontario, Canada) per la revisione critica e per i suggerimenti fornitici per il miglioramento del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- Autori Vari, 1969. Carta geologica d'Italia - F° 120, Siena. 2° ed. Serv. geol. Ital., Roma.
- Bardaji, T., Dabrio, C.J., Goy, J.L., Somoza, L. e Zazo, C., 1990. Pleistocene fan deltas in southeastern Iberian peninsula: sedimentary controls and sea-level changes. In *Coarse-Grained Deltas*. Ed. by A. Colella e D. Prior. Spec. Publ. int. Ass. Sediment. (1990) 10: 129-151.
- Bartolini, C., Bernini, M., Carloni, G.C., Costantini, A., Federici, P.R., Gasperi, G., Lazzarotto, A., Marchetti, G., Mazzanti, R., Papani, G., Pranzini, G., Rau, A., Vercese, P.L., Francavilla, F. e Sandrelli F., 1983. Carta neotettonica dell'Appennino settentrionale. Note illustrative. Boll. Soc. geol. ital., (1982), 101: 523-549.
- Bertini, G., Cameli, G.M., Costantini, A., Decandia, F.A., Di Filippo, M., Dini, I., Elter, F.M., Lazzarotto, A., Liotta, D., Pandeli, E., Sandrelli, F. e Toro, B., 1991. Struttura geologica tra i monti di Campiglia e Rapolano Terme (Toscana Meridionale): stato attuale delle conoscenze e problematiche. Stud. geol. camerti, Vol. spec., 1991/1: 155-178.
- Bossio, A., Mazzanti, R., Mazzei, R., Salvatorini, G.F. e Sandrelli, F., 1992a. Il Pliocene dell'area di Pomarance (Pisa). Atti Soc. tosc. sci. nat., Mem., Ser. A, 98: 1-98.
- Bossio, A., Mazzanti, R., Mazzei, R., Salvatorini, G.F. e Sandrelli, F., 1992b. Il Pliocene di S. Dalmazio-Anqua e Radicondoli-Belforte (Siena-Pisa). Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Ser. A, 98: 99-191.
- Bossio, A., Mazzanti, R., Mazzei, R., Salvatorini, G.F. e Sandrelli, F., 1992c. Il Pliocene del Bacino di Chiusdino (Siena). Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Ser. A, 98: 193-250.
- Bossio, A., Cerri, R., Costantini, A., Gandin, A., Lazzarotto, A., Magi, M., Mazzanti, R., Mazzei, R., Sagri, M., Salvatorini, G.F. e Sandrelli, F., 1992d. B4 - I bacini distensivi neogenici e quaternari della Toscana. Guida all'ecursione post congresso 76° riunione estiva Soc. geol. ital. Firenze Settembre 1992, 199-277.
- Bossio, A., Costantini, A., Lazzarotto, A., Liotta, D., Mazzanti, R., Mazzei, R., Salvatorini, G. e Sandrelli, F., 1993. Rassegna delle conoscenze sulla stratigrafia del Neautoctono toscano. Mem. Soc. geol. ital., 49: 17-98
- Bossio, A., Cerri, R., Mazzei, R., Salvatorini, G.F. e Sandrelli, F., 1994a. The Neautochthonous succession of the Spicchiaiola - Pignano area, East of Volterra (Southern Tuscany, Italy). Mem. Soc. geol. ital. (1992), 48: 425-430.
- Bossio, A., Foresi, L.M., Mazzei, R., Pascucci, V., Salvatorini, G.F. e Sandrelli, F., 1994b. Il Bacino di Volterra: notizie preliminari sull'evoluzione della sua area centro meridionale durante il Pliocene. Stud. geol. camerti, Vol. spec., 1994/1: 19-31.
- Bossio, A., Foresi, L.M., Mazzei, R., Pascucci, V., Salvatorini, G.F. e Sandrelli, F., 1996. Seismic Stratigraphy of the Southern side of the Volterra Basin, Tuscany, Italy. 17 IAS European and African meeting. Abstracts Volume; 26-28 March 1996, Sfax, Tunisia, 41-43.
- Bossio, A., Cerri, R., Mazzei, R., Salvatorini, G.F. e Sandrelli, F., in stampa, a. Geologia dell'area Spicchiaiola-Pignano (Settore orientale del Bacino di Volterra). Boll. Soc. geol. ital., (1995).
- Bossio, A., Costantini, A., Foresi, L.M., Lazzarotto, A., Liotta, D., Mazzanti, R., Mazzei, R., Salvatorini, G.F. e Sandrelli, F., in stampa, b. Studi preliminari sul sollevamento della Toscana Meridionale dopo il Pliocene medio. Stud. geol. camerti. Vol 1/1995.
- Bossio, A., Foresi, L.M., Mazzei, R., Salvatorini, G.F., e Sandrelli, F., in stampa, c. Evoluzione tettonico-sedimentaria lungo una trasversale ai bacini di Volterra e della Val d'Elsa. Stud. geol. camerti. Vol 1/1995.
- Dabrio, C.J., 1990. Fan-delta facies association in late Neogene and Quaternary basins of southeastern Spain. In *Coarse-Grained Deltas*. Ed. by A. Colella e D. Prior. Spec. Publ. int. Ass. Sediment. (1990) 10: 91-111.
- Elter, F.M. e Sandrelli, F., 1994. La fase post-nappe nella Toscana Meridionale: nuova interpretazione sull'evoluzione dell'Appennino settentrionale. Atti ticn. Sci. Terra, 37: 173-193.
- Elter, P., Giglia, G., Tongiorgi, M. e Trevisan, L., 1975. Tensional and compressional areas in the recent (Tortonian to Present) evolution of north Apennines. Boll. Geof. Teor. Appl., 17: 3-18.
- Gandin, A. e Sandrelli, F., 1992 - Caratteristiche sedimentologiche dei corpi sabbiosi intercalati nelle argille plioceniche del Bacino di Siena. Giorn. Geol. 54, (1): 55-65.
- Gawthorpe, R.L. e Colella, A., 1990. Tectonics controls on coarse grained delta depositional systems in rift basin. In *Coarse-Grained Deltas*. Ed. by A. Colella e D. Prior. Spec. Publ. int. Ass. Sediment. (1990). Spec. Publ. int. Ass. Sediment. (1990), 10: 113-127.
- Giglia, G., 1974. L'insieme Corsica-Sardegna e i suoi rapporti con l'Appennino settentrionale: rassegna di dati cronologici e strutturali. Rend. Sem. Fac. Sci. Cagliari. Suppl. V. 3: 245-275.
- Hwang, I.G. e Chough, S.K., 1990. The Miocene Chunbuk Formation, southeastern Korea: marine Gilbert-type fan-delta system. In *Coarse-Grained Deltas*. Ed. by A. Colella e D. Prior. Spec. Publ. int. Ass. Sediment. (1990), 10: 235-254.
- Kazanci, N., 1990. Fan-delta sequences in the Pleistocene and Holocene Burdur Basin, Turkey: the role of basin-margin configuration in sediment entrapment and differential facies development. In *Coarse-Grained Deltas*. Ed. by A. Colella e D. Prior. Spec. Publ. int. Ass. Sediment. (1990), 10: 185-198.
- Lazzarotto, A. e Mazzanti, R., 1978. Geologia dell'alta Val di Cecina. Boll. Soc. geol. ital., 95: 1365-1487.
- Lazzarotto, A., Liotta, D., Pascucci, V. e Torelli, L., in stampa. Sequenze Sedimentarie Neogenico Quaternarie nella Piattaforma del Tirreno Settentrionale. Studi geol. camerti, 1995/1.
- Leeder, M.R. e Gawthorpe, R.L., 1987. Sedimentary models for extensional tilt-block/half-graben basins. In: *Continental extensional tectonics* (Ed. by M.P. Coward, J.F. Dewey and P.L. Hancock). Spec. Publ. geol. Soc. 28, 3-17.
- Martini, I.P. e Sagri, M., 1993. Tectono-sedimentary characteristic of Late Miocene-Quaternary extensional basins of the Northern Apennines. Earth. Sci. Rev., 34: 197-233.
- Martini, I.P., Pascucci, V. e Sandrelli, F., 1995. Late Miocene Paleogeography of the M.te Soldano Area, Southeastern part of Volterra Basin, Tuscany, Italy. Riv. ital. Paleont. Stratigr., 101, 3: 381-388.
- Miall, A.D., 1977. A review of the braided-river depositional environment. Earth Sci. Rev. 13: 1-62.
- Orton, G.J., 1995. Facies models in volcanic terrains: time's arrow versus time 's cycle. In: *Sedimentary Facies Analysis*. A tri-

- bute to the research and teaching of Harold G. Reading. Ed. by A.G. Plint. Spec. Publs int. Ass. Sediment. (1995), 22: 75-99.
- Pascucci, V., 1995. Evoluzione sedimentologica e paleogeografica dell'area di M.te Soldano. Settore meridionale del Bacino di Volterra (Prov. Pisa). Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Ser. A, 101, (1994): 227-240.
- Sagri, M., Martini, I.P., Benvenuti, M. e Magi, M., 1994. Basin fill architecture of the Neogene-Quaternary extensional basins in the Northern Apennines. Guide book for excursion B 4. 15th IAS Regional Meeting, April 1994, Ischia, Italy, 41-74.
- Signorini, R., 1966. I terreni neogenici del Foglio «Siena». Boll. Soc. geol. ital., 85: 639-654.
- Trevisan, L., 1952. Sul complesso sedimentario del Miocene superiore e Pliocene della Val di Cecina e sui movimenti tettonici tardivi in rapporto ai giacimenti di lignite e di salgemma. Boll. Soc. geol. ital., 70, (1): 65-78.

(ms. pres. il 6 marzo 1996; ult. bozze il 20 giugno 1996)

