

R. GUIDI (\*), R. MAS (\*\*), G. SARTI (\*\*\*)

## ANALISI DI FACIES DEI DEPOSITI TERRIGENI DEL CRETACEO SUPERIORE DEL VERSANTE SUD DELLA «SIERRA DE GUADARRAMA» (MADRID, SPAGNA CENTRALE): DATI PRELIMINARI

**Riassunto** - Il presente lavoro ha come obiettivo l'analisi di facies e la ricostruzione degli ambienti deposizionali della porzione basale, terrigena, della successione sedimentaria del Cretaceo superiore che affiora nel versante sud della Sierra de Guadarrama, situato poche decine di chilometri a nord della città di Madrid, che è parte della catena montuosa chiamata «Sistema Central». Le formazioni studiate «Arenas de Utrillas» («Arenarie di Utrillas»), «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña» («Arenarie e argille di Castro de Fuentidueña») e «Arenas y arcillas de Segovia» («Arenarie e argille di Segovia»), che affiorano discontinuamente lungo il margine della Sierra de Guadarrama con uno spessore massimo di circa 90 m, sono comprese tra il Cenomaniano ed il Coniaciano iniziale-medio e costituiscono la parte basale, silicoclastica, della successione sedimentaria del Cretaceo superiore, inclusa tra il Cenomaniano ed il Maastrichtiano. Le «Arenas de Utrillas» (Cenomaniano), costituite principalmente da arenarie e conglomerati, si sono deposte in un ambiente fluviale di tipo *braided* a bassa sinuosità con prevalenza di trasporto al fondo di sabbie (*bed-load coarse sand river*). L'analisi delle paleocorrenti ha permesso di riconoscere all'interno della formazione «Arenas de Utrillas», almeno tre sistemi fluviali ad andamento subparallelo. La formazione «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña» (Turoniano iniziale-Coniaciano iniziale), discordante sulla formazione «Arenas de Utrillas», registra un ciclo trasgressivo-regressivo con alla base argille ed arenarie deposte in un ambiente costiero dominato da processi tidali a cui segue una fase di approfondimento in ambiente subtidale, testimoniata da arenarie ricche in glauconite autigena ed una successiva fase regressiva con ritorno ad ambienti dominati da processi tidali. Le «Arenas y arcillas de Segovia» (Coniaciano iniziale-Coniaciano medio) infine, discordanti sulla formazione «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña» registrano una nuova fase di trasgressione marina con sviluppo di ambienti costieri con influenze tidali ed eccezione di un settore, non raggiunto dalle acque marine, dove invece sono preservati gli equivalenti laterali in facies fluviale.

**Parole chiave** - Analisi di facies, depositi terrigeni, ambienti deposizionali, Cretaceo superiore, Spagna.

**Abstract** - *Facies analysis of the Upper Cretaceous terrigenous deposits (southern margin of the «Sierra de Guadarrama», Madrid, central Spain): preliminary data.* This study concerns the facies analysis and the reconstruction of depositional environments of the basal, terrigenous portion of the Upper Cretaceous sedimentary succession, located in the southern margin of the «Sierra de Guadarrama» Mountains (North of Madrid, central Spain), which is a portion of the Spanish central Chain called «Sistema Central». The terrigenous deposits studied, about 90 m thick, are constituted by three formations: the «Arenas de Utrillas», the «Arenas y arcillas de Castro de

Fuentidueña» and the «Arenas y arcillas de Segovia» which age is enclosed between Cenomanian and Early-Middle Coniacian. The «Arenas de Utrillas» (Cenomanian), mainly constituted by sandstones and conglomerates, are related to a braided bed-load coarse sand river. Paleocurrent analysis evidences at least, within the «Arenas de Utrillas» formation, the presence of three fluvial systems flowing about side by side.

The «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña» (Early Turonian-Early Coniacian) record a transgressive-regressive sedimentary cycle first characterized by clay and sandstone deposited in a coastal environment dominated by tidal processes. A phase of maximum flooding is evidenced by the development of autochthonous glaucony-rich deposits while the transition to tidal deposits represents the final regressive phase.

The «Arenas y arcillas de Segovia» (Early-Middle Coniacian), which lie disconformably above the «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña», represented the beginning of another sedimentary cycle with a development of another marine transgression. The sedimentary features observed match with coastal tide-dominated depositional environment except for a small area, that was not flooded by marine waters, and where are preserved the laterally equivalent deposits in fluvial facies.

**Key words** - Facies analysis, terrigenous deposits, sedimentary environments, Upper Cretaceous, Spain.

**Resumen extendido** - *Análisis de facies de los depósitos terrígenos del Cretácico superior del borde sur de la «Sierra de Guadarrama» (Madrid, España central): datos preliminares.* El objetivo de este estudio es el análisis de facies y la reconstrucción de los ambientes sedimentarios de la porción basal, terrígena, de la sucesión sedimentaria del Cretácico superior que aflora en el borde sur de la Sierra de Guadarrama, parte de la cadena llamada Sistema Central situada pocas decenas de kilómetros a norte de Madrid, en el centro de España.

La sucesión sedimentaria del Cretácico superior aflora discontinuamente, a lo largo del margen sur de la Sierra de Guadarrama, con un espesor máximo complessivo de 200 m. Se apoya en discordancia sobre las formaciones ígneas y metamórficas paleozóicas de la Sierra de Guadarrama y en el extremo nororiental sobre una sucesión siliciclastica de edad triásica. A techo, mediante otra discordancia estratigráfica, aparecen los depósitos continentales terciarios. La sucesión sedimentaria del Cretácico superior se constituye de dos partes muy distintas:

- la porción inferior está constituida por depósitos principalmente terrígenos, que son los que han sido analizados en este trabajo, incluidos entre el Cenomaniense y el Coniaciense inicial-medio;
- la porción superior está constituida por depósitos carbonatados, incluidos entre el Coniaciense inicial-medio y el Maastrichtiense, que no interesan el trabajo en cuestión.

(\*) Via della Chiesa XXI 518, 55100 Lucca, Italia.

(\*\*) Departamento de Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, Ciudad Universitaria 28040, Madrid, España.

(\*\*\*) Dipartimento di Scienze della Terra, Facoltà di Scienze Geologiche, Università di Pisa, via S. Maria 54, 56126 Pisa, Italia. Sarti @dst.unipi.it.

Las formaciones estudiadas, que constituyen la porción terrígena (Cenomaniense-Coniaciense inicial-medio), son las «Arenas de Utrillas», «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña» y «Arenas y arcillas de Segovia».

El método de estudio principal utilizado para este trabajo ha sido el análisis de facies, que ha sido realizado mediante el levantamiento de columnas estratigráficas, la recogida de muestras, el análisis de éstas al microscopio en laminas delgadas y levigadas y el análisis paleontológico, aunque muy reducido a causa de los fuertes procesos diagenéticos que han recrystalizado o disuelto la mayoría de los fósiles presentes. La formación «Arenas de Utrillas» (Cenomaniense) se apoya en discordancia sobre el basamento paleozoico, y localmente hacia el NE sobre un sustrato sedimentario triásico. Su registro sedimentario es discontinuo a lo largo del sector estudiado y presenta espesores variables de entre pocos metros y 30 metros. En esta formación han sido reconocidas una serie de asociaciones de litofacies principalmente arenosas y conglomeráticas con características de ambiente fluvial de baja sinuosidad dominado por la sedimentación de arenas. El análisis de las paleocorrientes ha permitido reconocer al menos tres redes fluviales diferentes pero contemporáneas, subparalelas y con la misma dirección de flujo, que provienen de una misma área madre, identificable con las formaciones paleozoicas y precámbricas que actualmente constituyen el Sistema Central.

La formación «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña» (Turoniense inicial-Coniaciense inicial) se apoya en discordancia sobre las «Arenas de Utrillas» formando espesores variables entre 10 y 40 metros. En esta formación han sido individualizadas asociaciones de litofacies que representan un ambiente costero dominado por procesos mareales. Esta formación ha sido interpretada evolutivamente como un ciclo sedimentario transgresivo-regresivo con en la base arcillas y areniscas depositadas en ambiente intermareal, cuyos sigue

una fase de profundización en ambiente submareal, testimoniado por depósitos muy ricos en glauconita autigénica, y una sucesiva fase regresiva donde vuelven ambientes dominados por las mareas.

La formación «Arenas y arcillas de Segovia» (Coniaciense inicial-medio) yace en discordancia sobre la formación «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña» y constituye espesores variables entre 4 y 20 metros. En esta formación se reconocen unas asociaciones de litofacies de ambiente fluvial localizadas en un solo afloramiento muy apartado respecto a los otros (Soto del Real), mientras en todo el resto de la región de estudio esta formación tiene características de ambiente mareal. Las «Arenas y arcillas de Segovia» entonces representan el principio de otra nueva fase de transgresión marina con desarrollo de ambientes costeros con influencias mareales menos que en la zona de Soto del Real, no alcanzada por las aguas marinas, en la cual se preservan los equivalentes laterales en facies fluvial. Éste ciclo sedimentario sigue con las formaciones carbonatadas de la parte más alta de la sucesión sedimentaria del Cretácico, incluidas entre el Coniaciense inicial-medio y el Maastrichtiense.

**Palabras clave** - Análisis de facies, depósitos siliciclásticos, ambientes sedimentarios, Cretácico superior, España.

#### INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La zona studiata è situata nella Spagna centrale poco a nord della capitale, Madrid, nella regione denominata «Comunidad de Madrid» e marginalmente nella regione di «Castilla-La Mancha» (provincia di Guadalajara). Quest'area si estende per più di cento chilometri di lun-

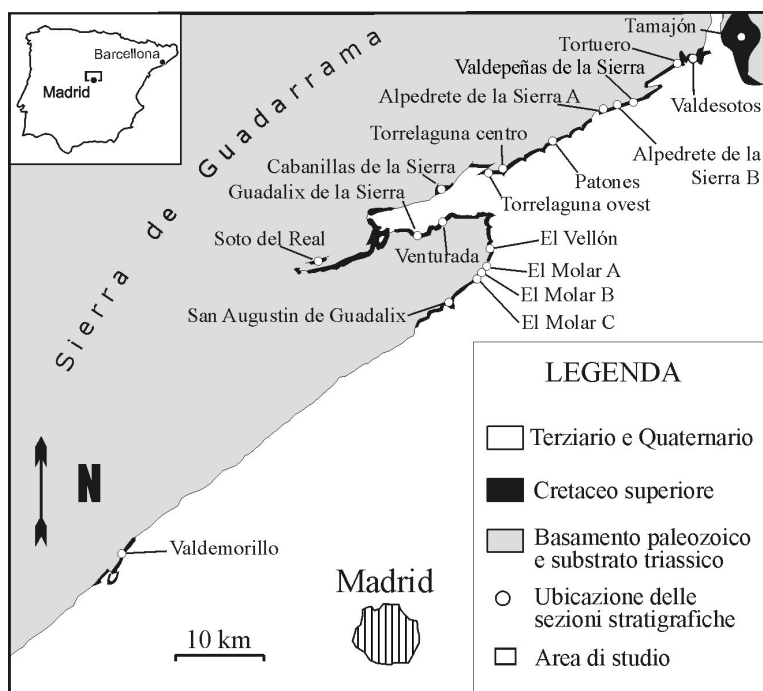


Fig. 1 - Carta geológica schemática dell'area di studio con l'ubicazione delle sezioni stratigráficas rilevate.

ghezza fra i paesi di Valdemorillo (Madrid) a SW e Tamajón (Guadalajara) a NE, ai piedi dei primi rilievi appartenenti alla catena montuosa della Sierra de Guadarrama (Fig. 1) che costituisce una porzione della catena chiamata «Sistema Central». La Sierra de Guadarrama si allunga in direzione approssimativamente E-W innalzandosi all'interno del vasto altopiano centrale spagnolo denominato «Meseta Central Iberica». La successione sedimentaria del Cretaceo superiore giace in discordanza su un basamento costituito da formazioni paleozoiche e precambriche, interessate dalle fasi metamorfiche erciniche, e nell'estremo nordorientale della zona di studio sopra una successione silico-clastica di età triassica. Forma una stretta monoclinale orientata approssimativamente in direzione SW-NE, che delimita tutto il bordo sud della Sierra. Questa successione sedimentaria, potente fino a circa 200 m, è sormontata in discordanza da depositi terziari deposti prevalentemente in ambienti di tipo continentale. La sequenza sedimentaria del Cretaceo superiore è compresa fra il Cenomaniano ed il Maastrichtiano, ed è suddivisibile in una porzione inferiore costituita principalmente da depositi terrigeni ed una porzione superiore dove prevalgono invece formazioni calcareo-dolomitiche (Gil *et al.*, 2001; García-Hidalgo *et al.*, 2001; Gil *et al.*, 1999; Gil & García, 1996; García *et al.*, 1996; Gil *et al.*, 1993; Gil, 1993; Alonso *et al.*, 1993; Bellido *et al.*, 1991; Bellido *et al.*, 1990). Oggetto del presente studio è l'analisi di facies delle tre formazioni basali, appartenenti alla porzione terrigena, denominate «Arenas de Utrillas» (Alonso *et al.*, 1982), «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña» (Alonso *et al.*, 1982) e «Arenas y arcillas de Segovia» (Alonso, 1981), comprese tra il Cenomaniano ed il Coniaciano iniziale-medio e di ipotizzarne un'evoluzione paleoambientale. A questo scopo e per una maggiore completezza di analisi, sono state prese in considerazione alcune formazioni esterne all'area di studio («Arenas, arcillas y calizas de Santa María de las Hoyas», «Margas de Picofrentes», «Calizas bioclasticas de Muñecas», «Dolomias tableadas de Caballar»), definite da Alonso *et al.* (1982), i cui rapporti stratigrafici con le formazioni studiate sono illustrati in Figura 2.

## METODI

Data l'elevata estensione dell'area oggetto di studio è stato effettuato un rilevamento *ex novo* alla scala 1/10.000 ed 1/25.000 solo di alcune aree chiave di particolare interesse, mentre per le restanti zone sono stati utilizzati come riferimento i fogli alla scala 1/50.000 dell'«Instituto Tecnológico GeoMinerero de Espana» (fogli n. 484, 485, 509 e 558: Portero García *et al.* 1990a; Portero García *et al.*, 1990b; Bellido *et al.*, 1990; Bellido *et al.*, 1991). Strumento principale di lavoro è stata l'analisi di facies. Su questa base, attraverso la costruzione di sezioni stratigrafiche di dettaglio e la raccolta di oltre 100 campioni analizzati sia in sezione sottile sia attraverso lavati per l'esame del contenuto paleontologico, sono state riconosciute, all'interno di ciascuna delle formazioni studiate, varie litofacies. Queste, identificabili sulla base di caratteristiche come la tessitura, la granulometria, la composizione, le strutture sedimentarie, la geometria ed il contenuto fossilifero, sono state successivamente raggruppate in associazioni di litofacies. Per la formazione delle «Arenas de Utrillas», depostasi in ambiente continentale, le associazioni di litofacies identificate sono state raggruppate in elementi architettonici secondo lo schema di Miall (1996). L'architettura delle associazioni di litofacies riconosciute e l'analisi dei loro rapporti stratigrafico-geometrici ha permesso di riconoscere vari ambienti e sub-ambienti deposizionali e di ipotizzare una loro evoluzione spazio-temporale.

## ANALISI DI FACIES E RICOSTRUZIONE DEGLI AMBIENTI DEPOSIZIONALI

### «Arenas de Utrillas»

Le «Arenas de Utrillas» sono state attribuite al Cenomaniano mediante correlazione stratigrafica (Fig. 2) con le formazioni «Arenas, arcillas y calizas de Santa María de la Hoyas» (Alonso *et al.*, 1982; Alonso & Mas, 1982). Affiorano in discordanza sul basamento paleozoico e triassico, tra Torrelaguna centro e Tamajón (Fig. 1), con spessori variabili da pochi metri

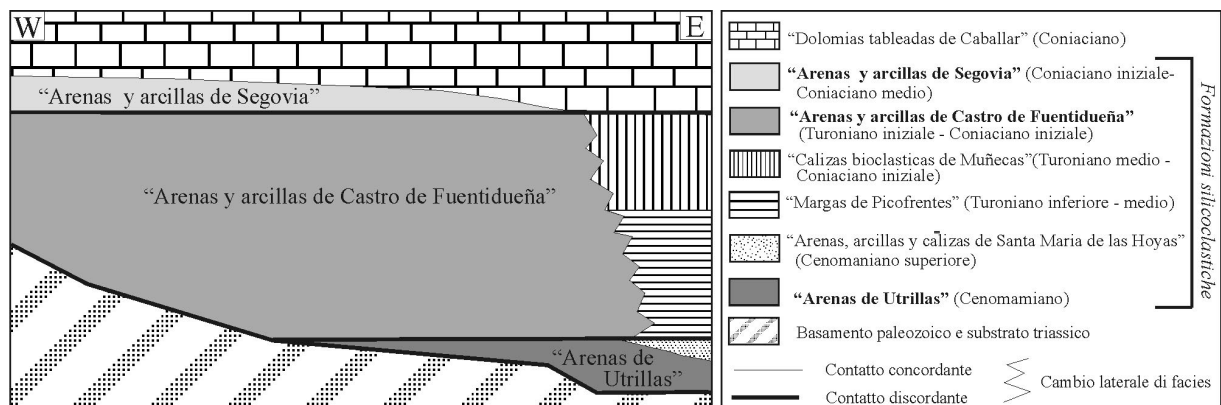


Fig. 2 - Relazioni stratigrafiche fra le formazioni di età compresa tra il Cenomaniano ed il Coniaciano iniziale-medio del fianco sud della Sierra de Guadarrama. Nei toni di grigio le formazioni studiate (modificata da Alonso & Mas, 1982 e Gil & García, 1996).

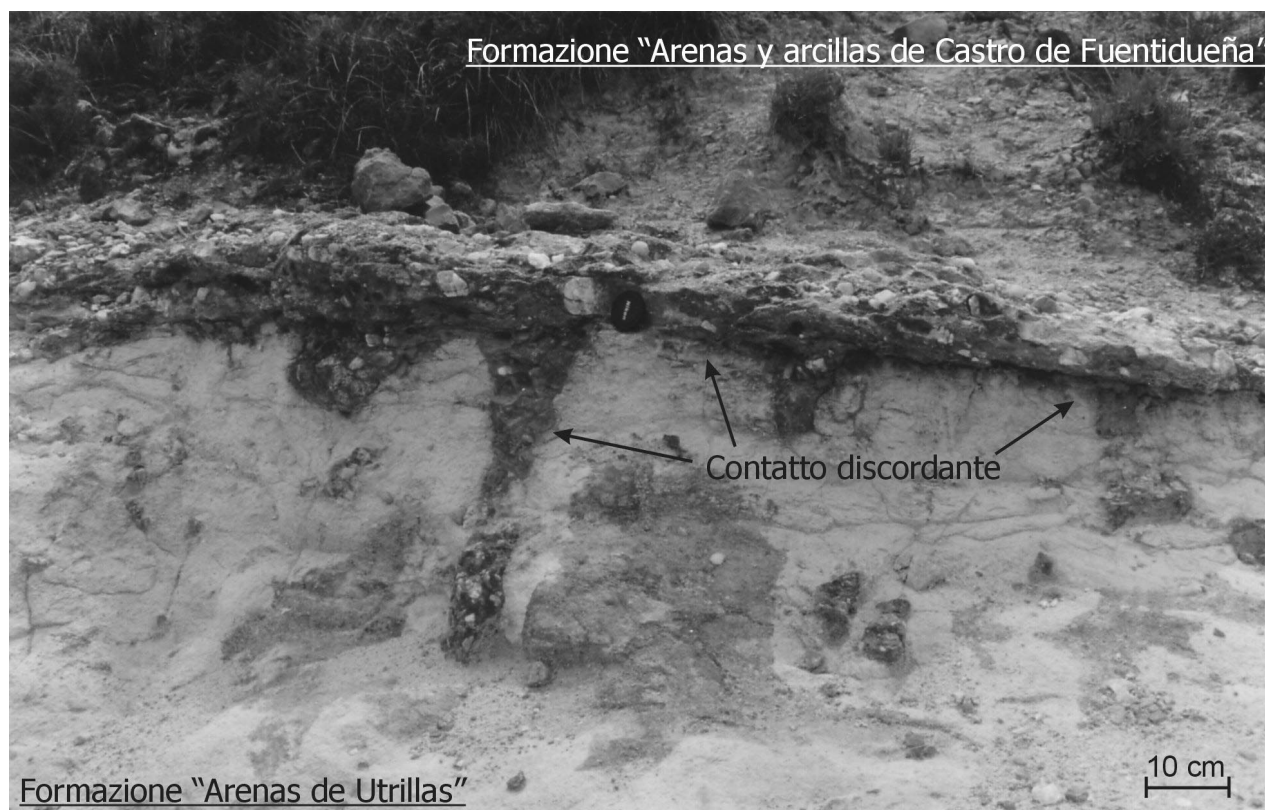


Fig. 3 - Contatto fra la formazione «Arenas de Utrillas» e la formazione «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña». È visibile l'alterazione pedogenetica che interessa la parte sommitale della formazione «Arenas de Utrillas».

fino ad un massimo di 30. Il tetto di questa formazione è invariabilmente caratterizzato dalla presenza di un paleosuolo su cui poggia discordante la formazione delle «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña» (Fig. 3).

Le «Arenas de Utrillas» sono costituite da varie associazioni di litofacies (Guidi, 2003) tipiche di deposizione in ambiente fluviale e dunque riferibili agli «*architectural elements*» definiti da Miall (1996). Queste associazioni, in reciproci rapporti di lateroverticalità, sono state raggruppate in associazioni di canale e di tracimazione.

Le *associazioni di canale* sono costituite prevalentemente da conglomerati e da arenarie quarzose grossolane a base erosiva, organizzate frequentemente in sequenze *fining-upward*, con stratificazione incrociata, embriciamento dei clasti, e presenza, specialmente alla base, di *mud-clasts*. In alcuni casi il tetto di ciascuna sequenza *fining-upward* è sormontato da superfici ossidate e paleosuoli indicanti fasi più o meno prolungate di esposizione subaerea. In questi depositi sono dunque registrate più fasi di attivazione, riempimento, ed abbandono di sistemi di canali ad elevata energia.

Le *associazioni di tracimazione* sono invece caratterizzate da litologie a granulometria fine, come argille, silt ed arenarie fini, normalmente bioturbate e contenenti resti vegetali e tracce di radici. Frequenti le superfici di ossidazione e i paleosuoli con vario grado di svi-

luppo. Le caratteristiche di questi depositi sono coerenti con un ambiente deposizionale di pianura alluvionale, a prevalente decantazione e/o debole trazione, più o meno vicino alle zone di argine del canale e con sporadici episodi di *crevasse splay*, testimoniati dalle arenarie fini e medie con geometria tabulare intercalate alle argille ed ai silt.

Nel complesso queste associazioni di litofacies, indicano un ambiente deposizionale fluviale di tipo *braided* a bassa sinuosità con prevalenza di trasporto sul fondo di sabbie (*bed-load coarse sand river* secondo la classificazione di Orton & Reading, 1993). Inoltre in base allo studio delle paleocorrenti (embriciamento dei clasti e direzione di immersione dei *foreset*), è possibile ipotizzare per i depositi della formazione «Arenas de Utrillas» un'appartenenza a bacini fluviali distinti (almeno tre nella zona di studio) ad andamento subparallelo (Fig. 5a). Questi sistemi fluviali dovevano inoltre essere alimentati dalla medesima area, individuabile nelle formazioni ignee e metamorfiche paleozoiche affioranti nella Sierra de Guadarrama. Questa ipotesi sembra trovare conferma sia nella scarsa variabilità compositiva osservata nei vari affioramenti sia nella direzione delle paleocorrenti, indicanti, in tutta l'area indagata, un flusso prevalente da NW verso SE, perpendicolare all'allineamento degli affioramenti che sono invece compresi in una fascia orientata SW-NE ed estesa per diverse decine di chilometri.

#### «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña»

Questa formazione affiora in tutta l'area di studio, con spessori compresi tra 10 e 40 m, eccetto che nella zona di Tamajòn (Fig. 1), dove è sostituita dalle formazioni «Margas de Picofrentes» e «Calizas bioclasticas de Muñecas» (Fig. 2). Sulla base dei rapporti stratigrafici con queste due formazioni le «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña» sono state attribuite al Turoniano iniziale-Coniaciano iniziale (Alonso *et al.*, 1982). Giacciono in discordanza sul basamento ad W di «Torrelaguna centro» e sulle «Arenas de Utrillas» ad E (Fig. 3), e sono sormontate in lieve discordanza angolare dalla formazione «Arenas y arcillas de Segovia». Anche in questa formazione, costituita prevalentemente da arenarie da fini a grossolane di colore ocre e localmente verdi cui si intercalano argille brune, sono state riconosciute varie associazioni di litofacies in reciproci rapporti di latero-verticalità e riconducibili ad un ambiente marino costiero (Guidi, 2003).

Esclusivamente alla base della formazione sono state osservate arenarie grossolane, ciottolose nella porzione basale di ciascuno strato, ad andamento tabulare, organizzate in sequenze *fining-upward*, con *ripples* da oscillazione (Fig. 4) sviluppati prevalentemente nella frazione più fine. Sono caratterizzate inoltre da una diffusa bioturbazione e dalla presenza di resti vegetali e frammenti di lamellibranchi non identificabili a cau-

sa di una diagenesi pervasiva. Questi depositi registrano, in facies litorale ad alta energia, la prima fase della trasgressione marina avvenuta durante il Turoniano iniziale, coerentemente con quanto documentato da vari autori sia in questa zona sia in zone adiacenti (Alonso *et al.*, 1993; Alonso *et al.*, 1987; Alonso & Mas, 1982; Alonso, 1981).

Fra le altre associazioni di litofacies riconosciute, le più frequenti sono costituite da corpi canalizzati *fining-upward* di arenarie da grossolane a fini, con stratificazione incrociata planare o concava, *ripples* da oscillazione, superfici di accrezione laterale ed in molti casi lamine di argilla nei *foreset* della stratificazione incrociata. Sono state spesso osservate direzioni di paleocorrenti di verso opposto ed, in alcuni casi, evidenze (laminazioni stromatolitiche) di condizioni inter-supratidali. Queste caratteristiche sono tipiche di un ambiente costiero dominato da processi tidali (Dalrymple, 1992; Vilas, 1989; Weimer *et al.*, 1982) ed in particolare registrano l'attivazione, il riempimento e la migrazione di canali tidali.

Intercalati a questi depositi si osservano spesso associazioni di litofacies composte da litologie a granulometria fine, come argille, silt ed arenarie fini, indicative di ambienti di energia più bassa rispetto a quella dei canali tidali. In questo tipo di depositi, contenenti talvolta bioclasti di molluschi, ostracodi, articoli di cri-

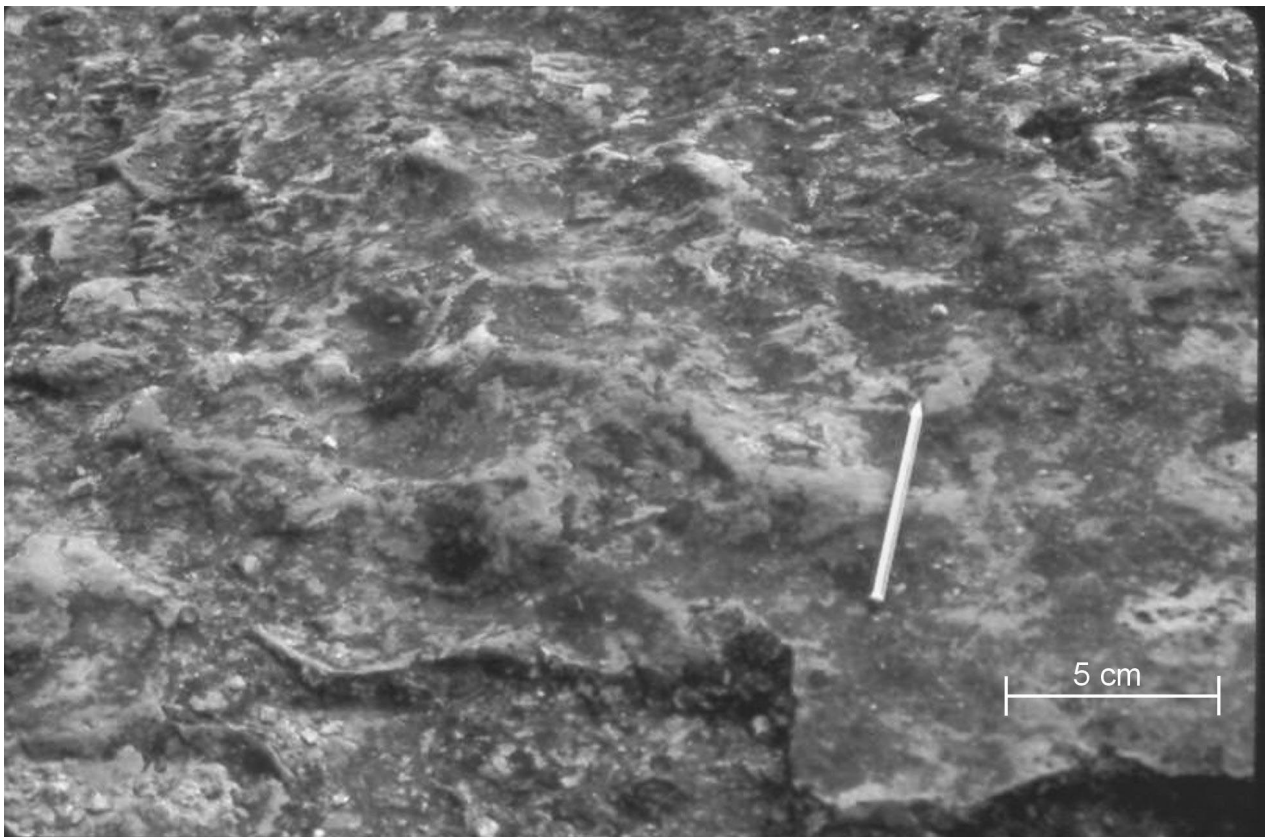


Fig. 4 - *Ripples* da oscillazione all'interno della formazione «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña».

noidi e resti vegetali non identificabili a causa dei processi diagenetici, sono stati osservati *ripples* da oscillazione, stratificazioni *flaser*, *wavy* e *lenticular*. Queste caratteristiche, ed i rapporti di lateroverticalità con i depositi di canale tidale, suggeriscono di interpretare queste associazioni di litofacies come deposte in ambienti di piana tidale.

Nella parte intermedia della formazione nei settori W della zona di studio è stata riconosciuta un'altra associazione di litofacies caratterizzata da un alto contenuto di glauconite autigena e costituita principalmente da arenarie o glaucoareniti, a cui si intercalano marne e calcilutiti che diventano progressivamente prevalenti procedendo verso W fino alla transizione eteropica con le «Margas de Picofrentes» e le «Calizas bioclasticas de Muñecas» (Fig. 2). Le glaucoareniti sono organizzate in strati da centimetrici a decimetrici a base netta non erosiva, in cui si osservano talvolta stratificazione incrociata e *ripples* da oscillazione e costituiscono la porzione di approfondimento della sequenza in ambiente subtidale e la successiva transizione ad un ambiente di piattaforma carbonatica interna. Infatti la grande quantità di glauconite autigena che contengono rende poco probabile una loro genesi in un ambiente dominato da processi tidali (Amorosi, 1997; Amorosi, 1995; Plint, 1983; Chafetz, 1978).

Infine nella porzione sommitale della formazione si sviluppano nel settore W associazioni di litofacies canalizzate a stratificazione incrociata con evidenze di accrezione laterale e di strutture stromatolitiche tipiche di sequenze di riempimento di canali tidali.

Da un punto di vista di evoluzione stratigrafico-deposizionale, procedendo dal basso verso l'alto, le associazioni di litofacies riconosciute nelle «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña» documentano il passaggio da ambienti deposizionali di tipo costiero, dominati da processi tidali e prevalenti apporti silicoclastici, ad ambienti subtidali caratterizzati dalla presenza di glauconite autigena, nei quali si registra la transizione, con il passaggio eteropico alle formazioni «Margas de Picofrentes» e «Calizas bioclasticas de Muñecas», (Fig. 2) a piattaforme carbonatiche progressivamente sviluppate da W verso E. Infine nella parte sommitale della formazione è registrata un'inversione di tendenza, marcata dalla progradazione verso E di facies tidali.

La direzione principale delle paleocorrenti è compresa fra N175 SE e N100 SE; questo permette di ricostruire approssimativamente la direzione della paleocosta nella regione di studio, al tempo della deposizione delle «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña», come compresa tra N20 NE e N30 NE (Fig. 5b).

#### «Arenas y arcillas de Segovia»

Giacciono in discordanza sulle «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña» e passano al tetto, con un contatto graduale, alle «Dolomias tableadas de Caballar» (Fig. 2). I rapporti stratigrafici intercorrenti tra quest'ultima e la formazione delle «Arenas y arcillas de Segovia» permettono di attribuirle al Coniaciano iniziale-Coniaciano medio (Alonso *et al.*, 1982; Alonso & Mas, 1982; Alonso, 1981).

Le associazioni di litofacies più comuni (Guidi, 2003) che caratterizzano questa formazione, spessa tra i 4 ed i 20 m, sono costituite da arenarie da grossolane a fini, con base erosiva, tendenza *fining-upward*, stratificazione incrociata e *ripples* di oscillazione. Spesso sono stati osservati *mud-clasts*, soprattutto concentrati alla base degli strati appena sopra la superficie di erosione, e lamine di argilla organizzate talora in *mud-couplets* alternati ai *foreset* della stratificazione incrociata. In alcuni affioramenti sono state raccolte misure di paleocorrenti divergenti o opposte. Queste caratteristiche sono coerenti con depositi di canale tidale.

Intercalate a queste, si osservano frequentemente litofacies deposte con alternanza tra processi di decantazione e debole trazione, tipiche di ambienti di piana tidale. Si tratta di argille e marne, molto bioturbate, con lenti di sabbie fini o piccoli livelli di sabbie a formare stratificazioni *lenticular* o *wavy*. Nelle litofacies con maggiore componente calcarea, che costituiscono la transizione alla formazione «Dolomias tableadas de Caballar», si osservano frequentemente laminazioni stromatolitiche.

Nell'affioramento di Soto del Real (Fig. 1), le caratteristiche dei depositi di questa formazione sono differenti essendo invece tipiche di ambiente fluviale. Facendo dunque riferimento agli «*architectural elements*» (Miall, 1996) si riconoscono associazioni di litofacies di canale e di tracimazione in reciproci rapporti di lateroverticalità. Tra le associazioni di canale le litofacies più comuni sono costituite da arenarie grossolane frequentemente ossidate e con diffuse rizoconcrezioni, organizzate in strati metrici a base erosiva, marcati da un *lag* ciottoloso alla base, andamento lenticolare, con una tendenza *fining-upward* e stratificazione incrociata ad alto angolo. Intercalati a questi depositi, si trovano le associazioni di tracimazione costituite prevalentemente da argille, dove talora sono stati osservati *mud cracks*, arenarie fini, interpretabili come depositi di argine o di *crevasse splay*, e frequenti livelli di paleosuoli, più o meno sviluppati, con tracce di radici. Nella zona di Soto del Real, dunque, la formazione delle «Arenas y arcillas de Segovia» presenta le caratteristiche di un ambiente fluviale *braided* a prevalente trasporto al fondo sabbioso e di bassa sinuosità. La discontinuità degli affioramenti non permette di osservare fisicamente le modalità di transizione tra questo ambiente deposizionale e gli ambienti costieri dominati da processi tidali (Fig. 5c) che si osservano procedendo verso W, anche se i dati di rilevamento e correlazione stratigrafica suggeriscono un passaggio transizionale. Da W verso E si assiste inoltre ad un progressivo aumento della frazione carbonatica che prelude alla eteropia con la formazione delle «Dolomias tableadas de Caballar» deposta in un ambiente di piattaforma carbonatica interna (Alonso *et al.*, 1993, *cum bibliografia*).

#### CONCLUSIONI

Sulla base dell'analisi di facies condotta sulle tre formazioni del Cretaceo superiore studiate («Arenas de

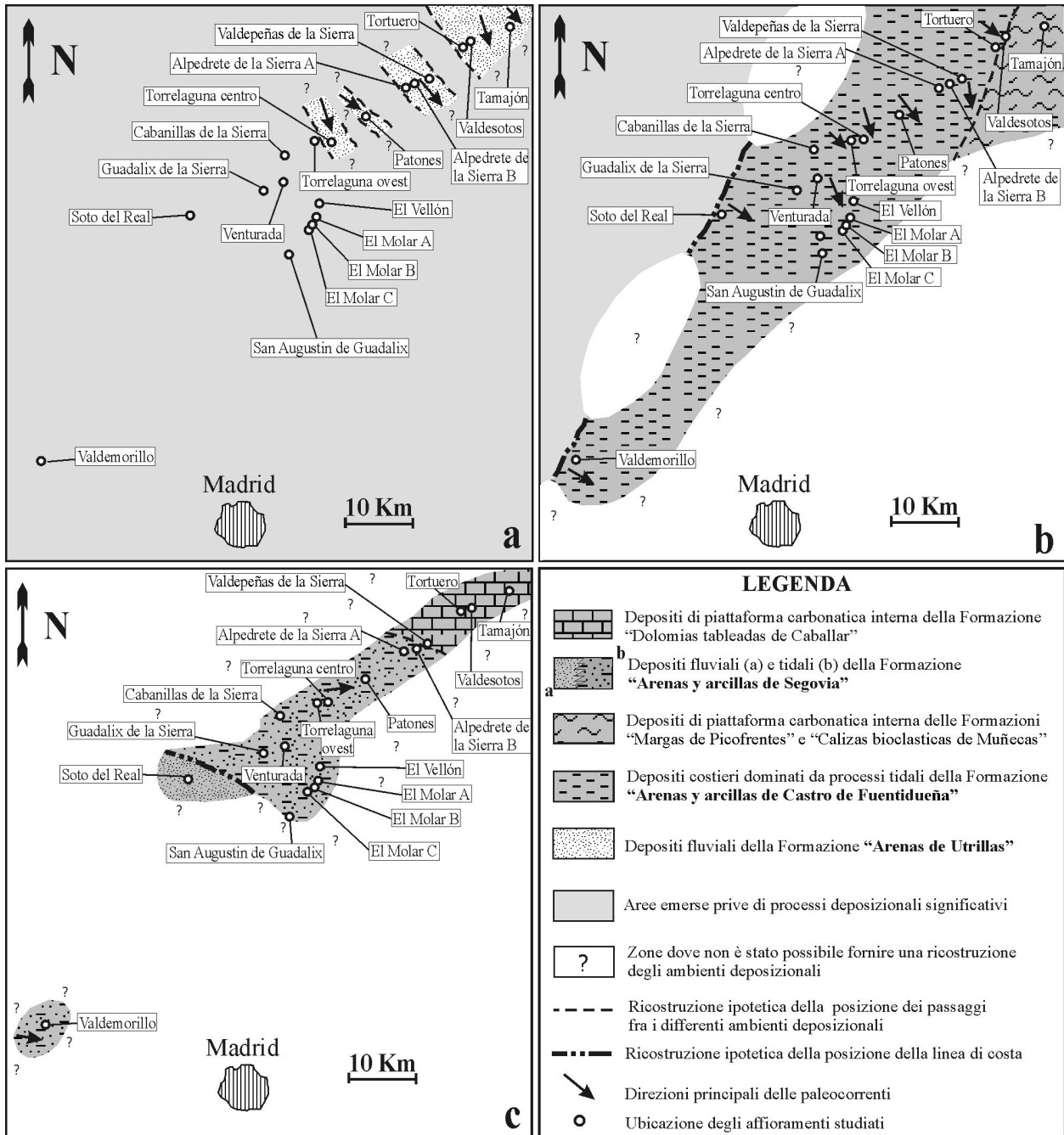


Fig. 5 - Schemi sintetici interpretativi di ricostruzione paleoambientale per l'intera regione di studio: a) durante la deposizione delle «Arenas de Utrillas»; b) durante la deposizione delle «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña», nel momento di massima trasgressione; c) durante la deposizione delle «Arenas y arcillas de Segovia».

Utrillas», «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña» e «Arenas y arcillas de Segovia») e degli ambienti deposizionali ricostruiti è possibile, in via preliminare, ipotizzare per l'intera regione di studio, il seguente quadro evolutivo compreso tra il Cenomaniano e il Coniaciano iniziale-medio (Fig. 5):

– Sviluppo durante il Cenomaniano di almeno tre sistemi fluviali a bassa sinuosità (Fig. 5a), ad andamento subparallelo e senso di scorrimento da NW verso SE ed alimentati dai depositi metamorfici e ignei del basamento varisco del Massiccio Centroiberico, equivalenti a quelli che affiorano

attualmente nella Sierra de Guadarrama (formazione delle «Arenas de Utrillas»).

- Prima fase di trasgressione (Turoniano iniziale), che interessò tutta la regione di studio (formazione delle «Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña») con: *a*) instaurazione di ambienti costieri, dominati da processi tidali passanti verso E ad ambienti di piattaforma carbonatica interna (formazioni delle «Margas de Picofrentes» e delle «Calizas bioclasticas de Muñecas»); *b*) fase di massimo approfondimento (Fig. 5b) del sistema deposizionale (depositi ricchi in glauconite autigena) in ambiente subtidale e di piattaforma carbonatica interna aperta e *c*) successiva fase di progradazione con nuova instaurazione di ambienti deposizionali tidali.
- Seconda fase di trasgressione durante il Coniaciano iniziale (formazione delle «Arenas y arcillas de Segovia»), che sommerse tutta la regione di studio eccetto la zona di Soto del Real, dove si svilupparono sistemi fluviali a bassa sinuosità. Nelle zone ragionate dalle acque marine, invece, si instaurarono pianure tidali a prevalente apporto silicoclastico, sostituite verso est da depositi in facies prevalentemente calcarea (formazione delle «Dolomias tableadas de Caballar») depositi in un ambiente di piattaforma carbonatica interna (Fig. 5c).

#### RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il dott. Nicola Perilli per la revisione finale del lavoro e per i suggerimenti dati.

#### BIBLIOGRAFIA

- Alonso A., 1981. El Cretácico de la provincia de Segovia (borde norte del Sistema Central). Tesis doctoral. Seminarios de Estratigrafía. Serie Monografías, 7: 271 Ed. de la Universidad Complutense de Madrid, pp. 271.
- Alonso A., Floquet M., Melendez A., 1982. La Meseta Norcastellana. In: El Cretácico de España: 387-456. Ed. Universidad Complutense de Madrid.
- Alonso A., Mas R., 1982. Correlación y evolución paleogeográfica del Cretácico al norte y al sur del Sistema Central. *Quad. Geol. ibérica* 8: 151-172.
- Alonso A., Floquet M., Mas R., Melendez A., Melendez N., Salomon J., Vadot J.P., 1987. Modalities de la regression marine sur le detroit ibérique (Espagne) a la fin du Cretace. *Mem. geol. de l'Univ. de Dijon* 11: 91-102.
- Alonso A., Floquet M., Mas R., Melendez A., 1993. Late Cretaceous carbonate platforms: origin and evolution. Iberian Range, Spain. In: Simó T., Scott R.W., Masse J.P., Cretaceous Carbonate Platforms. *Mem. amer. Assoc. Petroleum. Geol.* 56: 297-316.
- Amorosi A., 1995. Glaucony and sequence stratigraphy: a conceptual framework of distribution in siliciclastic sequences. *J. sediment. Res* B65: 419-425.
- Amorosi A., 1997. Detecting compositional, spatial, and temporal attributes of glaucony: a tool for provenance research. *Sediment. Geol.* 109: 135-153.
- Bellido F., Casquet C., González Lodeiro F., Martín Parra L.M., Martínez-Salanova J., Navidad M., Del Olmo A., 1990. Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Hoja 509, (Torrelaguna). ITGE.
- Bellido F., Casquet C., Escuder J., Klein E., Navidad M., Peinado M., Del Olmo A., 1991. Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000. Hoja 484, (Buitrago del Lozoya). ITGE.
- Chafetz H.S., 1978. A trough cross-stratified glauconite: a Cambrian tidal inlet accumulation. *Sedimentology* 25: 545-559.
- Dalrymple R.W., 1992. Tidal depositional systems. In: Walker R.G., James N.P. (eds.), Facies models, response to sea level change: 195-218. Geol. Ass. Can., St John's, Newfoundland.
- García A., Segura M., García-Hidalgo J.F., Ruiz G., Gil J., Carenas B. 1996. Discontinuidades estratigráficas y secuencias deposicionales del Cretácico medio (Albiense superior-Turonense medio) en la Cordillera Ibérica central y el Sistema Central meridional. *Geogaceta* 20 (1): 119-122.
- García-Hidalgo J.F., Gil J., Segura M., 2001. Sedimentología de la sucesión Cretácica basal en el borde Sur del Sistema Central (Madrid). *Geotemas* 3 (2): 197-200.
- Gil J., 1993. Estratigrafía secuencial del Cretácico del borde meridional del Sistema Central en el sector de San Augustin de Guadalix-Palmaces de Jadraque (Madrid-Guadalajara). Tesina de licenciatura inédita. Universidad Complutense de Madrid: pp. 145.
- Gil J., García A., 1996. El Cretácico del borde meridional del Sistema Central: unidades litoestratigráficas y secuencias deposicionales. *Estud. geol.* 52: 37-49.
- Gil J., García A., Segura M., 1993. Secuencias deposicionales del Cretácico en el flanco sur del Sistema Central. *Geogaceta* 13: 43-45.
- Gil J., Segura M., García-Hidalgo J.F., 1999. Stratigraphic and sedimentologic analysis of the Cretaceous at «Barranco de las Cuevas» (Patones, Madrid): a geological interest site in the Community of Madrid. In: Baretino D., Vallejo M., Gallego E. (eds.), Towards the balanced management and conservation of the Geological Heritage in the New Millennium: 172-176. Sociedad Geologica de España.
- Gil J., Segura M., García-Hidalgo J.F., 2001. Caracterización de los rizolitos en el Cenomaniense Superior de Torrelaguna (Madrid): significado sedimentológico y estratigráfico. *Bol. (r.) Soc. españ. Hist. nat.* 96 (3-4): 39-47.
- Guidi R., 2003. Sedimentología delle facies silicoclastiche del Cretaceo superiore del versante sud della «Sierra de Guadarrama», nord di Madrid, Spagna centrale. Tesi di laurea inedita: pp. 104. Università di Pisa.
- Miall A.D., 1996. The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology, pp. 582. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- Orton G.J., Reading H.G., 1993. Variability of deltaic processes in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size. *Sedimentology* 40: 475-512.
- Plint A.G., 1983. Facies environments and sedimentary cycles in the middle Eocene Bracklesham formation of the Hampshire basin: evidence for global sea-level changes? *Sedimentology* 30: 625-653.
- Portero García J.M., Aznar Aguilera J.M., Pérez González A., González Lodeiro F., 1990a. Mapa Geológico de España. Escala 1/50.000. Hoja 485 (Valdepeñas de la Sierra). ITGE.
- Portero García J.M., Pérez González A., Cancero G., Peinado M., Casquet C., Villaseca C., 1990b. Mapa Geológico de España. Escala 1/50.000. Hoja 558 (Majadahonda). ITGE.
- Vilas F., 1989. Estuarios y llanuras intermareales. In: Arche A (ed.), *Sedimentología* 1: 453-493.
- Weimer R.J., Howard J.D., Lindsay D.R., 1982. Tidal flats and associated tidal channels in sandstone depositional environments. A. A. P. G. *Memoir* 31: 191-245. Sholle P.A., Spearing P. (eds.).

(ms. pres. il 22 luglio 2004; ult. bozze il 10 settembre 2004)