

Riv. It. Paleont. Strat.	v. 97	n. 2	pp. 153-174	Luglio 1991
--------------------------	-------	------	-------------	-------------

## ANALISI SPETTRALE E CICLI DI MILANKOVITCH IN SUCCESSIONI CRETACICHE DEL SUDALPINO ORIENTALE

MICHELE CLAPS<sup>1</sup>, DANIELE MASETTI<sup>1</sup>,  
FRANCESCO PEDRIELLI<sup>2</sup> & ADA LUCCHI GARAVELLO<sup>1</sup>

*Key-words:* Cyclostratigraphy, Milankovitch cycles, spectral analysis, pelagic rhythms, Cretaceous, Southern Alps.

*Abstract.* Spectral analysis technique has been applied for the first time in the Southern Alps, to three pelagic and hemipelagic sections (Venetian Prealps and Dolomites) of Barremian-Cenomanian age, characterized by a couplet alternation of carbonate rich and carbonate poor layers.

This technique is used to detect these lithologic periodicities in the measured sections, in order to search for climatic Milankovitch-type cycles (short eccentricity, obliquity and precession cycles). We have applied two different processing routines: the FFT algorithm has been developed to process, for example, bed thickness, bed-joint position and calcimetric time series; for the other cases the FWT algorithm has been used to deal with a codified time series, such as lithotype signals or the presence/absence of some bioturbation signal. The results of the data processing are amplitude and power spectra, showing frequency peaks with maximum energy. They are computed first in terms of space measurements (cm) and later are converted into time (thousand of years) using the average sedimentation rate, inferred for each section by the duration of stratigraphic units (stages) and their thickness in the studied section. To prevent distortion related to the form of the input signal a smoothed triangular filter of different length was used, as a way of obtaining a sinusoidal-like wave. The stability of the most relevant peaks can be tested by dividing the original time series into two or more subsections. They are then processed by sample rates to generate spectra with different resolution levels.

The first section was measured in the Venetian Prealps (Castagnè, Lessini Mt.s): it belongs to the Middle Cenomanian (Scaglia Variegata Fm.), and an average sedimentation rate of 1.7 cm/kyr has been computed. Bed thickness, joint position and intermediate lithologic class time series have been processed by FFT and FWT to obtain spectra where the main shown periodicities are in the range of eccentricity (111-83 ka), obliquity (60-41 ka) and precession of equinoxes (24-18 ka). We suggest that these lithologic rhythms are the sedimentologic result of the fluctuating productivity of calcareous nannofossils. High amplitude precession cycles imply the development of oceanic upwelling areas and in such a phase the nannofossils fauna will flourish: as a consequence we expect the deposition of the carbonate rich semicouplet.

---

1) Dipartimento di Geologia e Paleontologia dell'Università di Ferrara, Corso Ercole I d'Este 32, 44100 Ferrara, Italy.

2) Dipartimento di Fisica dell'Università di Ferrara, Via del Paradiso 12, 44100 Ferrara, Italy.  
- Lavoro eseguito con i fondi M.U.R.S.T. (ex M.P.I.) 60% D. Masetti e A. Lucchi Garavello.

At the Ra Stua section (Dolomites, Upper Barremian, Marne del Puezz Fm.) bed thickness and codified ichnogenera time series have been investigated, with an estimated average sedimentation rate of 2.5 cm/kyr. The periodicities identified have been computed by FFT and FWT and seem to be in the same frequency range with respect to the Castagnè section, with peaks of 113-101 kyr, 56-36 kyr and 21-27 kyr. In particular the spectrum computed on the presence/absence of the ichnogenera *Zoophycos* indicates one dominant cyclicity in the eccentricity range, probably produced by periodic variation in the substrate firmness. The effects of the three Milankovitch climatic-orbital cycles are shown in the spectral analysis of the bed thickness distribution: we suggest they have been caused by the combined actions of CaCO<sub>3</sub> productivity and dilution cycles. A high precession index, which determines a stronger nutrient flux to the surface, is also responsible for the ice masses reduction (highstand phase), with consequent decreasing of terrigenous input. The result of these effects is the deposition of the carbonate bed.

The third section sampled is located in the Cismon Valley (Venetian Prealps) and belongs to the Scaglia Variegata Fm. (Upper Cenomanian). An average sedimentation rate of 0.6 cm/kyr has been calculated on the base of the recent chronological scale of Haq et al. (1987). The periodicities of the couplets and bundles are obtained by FFT, analysing the bed thickness and calcimetric time series. Both the spectra show stable and regular frequency peaks, but in this study case the mean sedimentation rate does not allow a good time conversion of the space periodicities in the corresponding values, predicted in the Milankovitch theory. Nevertheless the computed spectra show wavelengths ratio of spectral peaks similar to those existing between the known Milankovitch cycles in the Pleistocene records: so we propose a different sedimentation rate (1.4 cm/kyr), evaluated by matching the three most relevant range of peaks to the time values of the best candidates: the short eccentricity, obliquity and precession cycles (100, 41, 21 kyr). In this way it is possible a) to bypass the application of the existing geologic time scales, which are subject to a variety of uncertainties, b) to avoid the problem generated by missing parts of section through hiatuses, located at certain positions in it. In such a model the hiatuses can separate isolated groups of strata from the recorded section and are not responsible for the loss of spectral information. We assume that these Milankovitch cycles are recorded in the Cismon section by the effects of productivity cycles of calcareous nannofossils, in the same way as the Castagnè section.

In summary we have investigated the sedimentologic records of some oscillating parameters and, according to previous works, the spectral analysis results and the values of duration of the resulting cycles have shown to be largely controlled by productivity, dilution, dissolution and redox cycles. These are of the same order of magnitude as the Milankovitch-like cycles, recognized widely as a consequence of climatic changes and a variable solar insolation pattern, forced by the oscillations of orbital parameters (long and short eccentricity, obliquity and precession cycles).

### Introduzione: cicli orbitali e sedimentazione.

Gran parte delle successioni pelagiche ed emipelagiche del Mesozoico e del Cenozoico sono caratterizzate da un evidente carattere ritmico le cui espressioni sedimentarie possono essere così sintetizzate. Se l'ambiente deposizionale è caratterizzato da una alimentazione terrigena fine, si origina una alternanza di strati ricchi e strati poveri in carbonato a scala decimetrica; se l'apporto argilloso è scarso, tale ritmicità si manifesta nella regolare fluttuazione dello spessore degli strati carbonatici direttamente sovrapposti gli uni agli altri o separati da sottili interstrati argilloso-marnosi. In ambienti scarsamente ossigenati le periodiche fluttuazioni dei parametri ambientali portano alla ripetuta sovrapposizione di sedimenti laminati scuri, ricchi in carbonio organico, ad altri più chiari, intensamente bioturbati e poveri di carbonio organico.

I meccanismi suggeriti per la generazione di queste alternanze prevedono (Einsele, 1982; Arthur et al., 1984) periodiche fluttuazioni degli apporti carbonatici (cicli di produttività); della dissoluzione del carbonato presente (cicli di dissoluzione); degli ap-

porti terrigeni (cicli di diluizione). Il grado di ossidazione al fondo è infine controllato da periodiche oscillazioni nell'apporto di materia organica e nel contenuto in O<sub>2</sub> dell'acqua (cicli di ossidoriduzione).

Le originarie alternanze litologiche presenti nell'ambiente deposizionale possono essere tuttavia modificate, ma non stravolte, durante la diagenesi che generalmente introduce una amplificazione delle differenze primarie. Ciò avviene a causa della tendenza del carbonato di calcio a migrare dagli strati poveri agli strati ricchi nello stesso componente (Arthur et al., 1984; Ricken, 1987), durante le fasi di dissoluzione e di successiva riprecipitazione sotto forma di microcemento.

Stime effettuate da vari autori (Fischer, 1986; Fischer et al., 1990) sulle periodicità dei ritmi di vario ordine presenti nelle successioni sedimentarie pelagiche cadono in una fascia compresa generalmente tra 10 e 400 ka, suggerendo quindi un collegamento con gli analoghi periodi delle perturbazioni orbitali previste dalla teoria di Milankovitch (1941). I cicli di precessione (19-23 ka), obliquità (41-54 ka) ed eccentricità (98-123 ka ad alta frequenza e 413 ka a bassa frequenza) riscontrati negli ultimi 5 milioni di anni nell'orbita terrestre (Berger, 1978 in Berger, 1984) sono quindi responsabili di fluttuazioni climatiche, la cui risposta sedimentaria sarebbe rappresentata dai cicli di produttività, diluizione, dissoluzione ed ossidoriduzione prima citati. I complessi legami esistenti tra cicli orbitali e fluttuazioni climatiche, il dinamismo del sistema atmosfera-idrosfera-biosfera, nonché le modalità con cui tutti questi fattori interagiscono ed influenzano i meccanismi deposizionali nei vari ambienti sedimentari costituiscono, a tutt'oggi, un problema in gran parte insoluto (Hays et al., 1976; Imbrie et al., 1984; Ruddiman & McIntyre, 1984; Ripepe, 1990).

Questo lavoro rappresenta il primo tentativo di verifica di cicli climatici di frequenza milankoviana (comprendenti cioè le periodicità previste dalla teoria di Milankovitch) in successioni pelagiche ed emipelagiche del Sudalpino, attraverso metodologie derivate dall'analisi dei segnali; in esso sono state analizzate tre sezioni, affioranti nelle Prealpi venete e nelle Dolomiti ampezzane, comprese nell'intervallo stratigrafico Barremiano-Cenomaniano.

### **Analisi spettrale e metodologia di indagine.**

La quantificazione dei periodi dei ritmi litologici di vario ordine, contenuti in molte successioni sedimentarie, viene effettuata nella maniera seguente.

Una prima tecnica consiste nell'analizzare la sezione stratigrafica allo scopo di individuare in essa i vari ordini di ciclicità presenti, dalle coppie litologiche a scala decimetrica fino alla loro organizzazione in *stratosets* a scala metrica (*bundles* di Schwarzacher & Fischer, 1982). Inizialmente si assume che tali ritmi siano l'espressione sedimentaria dei vari cicli climatici indotti dalle perturbazioni orbitali milankoviane e che perciò i ritmi dello stesso ordine gerarchico abbiano tutti la medesima durata, anche a dispetto della variabilità del loro spessore, provocata da variazioni nella velocità di sedimentazione. L'estrapolazione del numero dei ritmi contenuti in un intervallo

di durata nota, dedotto in base alle scale geocronologiche, permette di determinare la loro durata media. Una metodologia analoga, per quanto applicata con finalità diametralmente opposte, venne per la prima volta utilizzata addirittura alla fine del secolo scorso. Gilbert (1895) infatti, assumendo che i ritmi litologici a scala decimetrica presenti in una successione emipelagica cretacea del Colorado fossero l'espressione dei cicli di precessione (21 ka), arrivò a determinare con sufficiente precisione la durata assoluta corrispondente a tutta la sezione studiata.

L'applicazione di tale tipo di analisi può essere resa problematica dalla soggettività che interviene nella determinazione sul terreno dei vari ordini di ciclicità presenti nella successione e dei rapporti gerarchici intercorrenti tra questi. Lo spessore delle singole coppie calcari-marne, corrispondenti nelle successioni cretache dell'Appennino ai cicli di obliquità e di precessione (De Boer & Wonders, 1984; Fischer & Schwarzbacher, 1984), ha infatti dei grossi margini di variabilità in funzione del variabile tasso di sedimentazione.

Una più precisa valutazione delle periodicità presenti nelle successioni sedimentarie sfrutta invece le tecniche dell'analisi spettrale (SATs) al calcolatore. Scopi fondamentali di tali tecniche sono l'analisi di un segnale modulato nel dominio del tempo o dello spazio (definito comunemente serie temporale), e l'individuazione di tutte le frequenze che ne controllano la modulazione e che quindi definiscono la forma complessiva del segnale. Attraverso vari procedimenti di calcolo (Pestiaux & Berger, 1984), quali gli algoritmi di Fourier e di Walsh, è possibile generare gli spettri di fase, ampiezza ed energia del segnale modulato, che esprimono rispettivamente il valore di tali funzioni per ognuna delle frequenze elementari che compongono il segnale. Gli spettri di potenza (o energia, simili per significato a quelli di ampiezza) realizzano così il passaggio dalla rappresentazione del segnale in funzione dello spazio o del tempo all'espressione dello stesso nel dominio delle frequenze.

L'applicazione di tale metodologia al problema della ciclicità sedimentaria esige una ordinata sequenza di operazioni, così riassunta:

a) Campionatura della sezione. Essa è effettuata strato per strato, attribuendo ad ogni unità progressivamente numerata una serie di parametri (P): spessore dello strato, classe litologica, tenore calcimetrico, presenza/assenza di particolari strutture sedimentarie, bioturbazioni, etc. Alcuni di questi parametri vengono rappresentati dai valori numerici corrispondenti (calcimetrie, spessori, etc.); altri, relativi alla presenza o all'assenza di una certa classe, sono rispettivamente indicati dai valori 1 o 0; la maggiore o minore intensità di un processo può inoltre essere quantificata attraverso valori codificati (Weedon, 1985, 1989; Ripepe, 1988).

b) Generazione di serie temporali. Con i dati ottenuti dalla campionatura viene costruita una serie temporale per ogni parametro investigato. Utilizzando un appropriato passo di campionatura, la sezione stratigrafica viene analizzata dalla sua base al tetto, attribuendo ad ogni punto successivo di acquisizione dati il valore del parametro che compete allo strato in esame, fino a che la progressione numerica non determina il passaggio allo strato seguente. Il risultato della scansione effettuata è la creazione di

una successione ordinata di  $N$  punti, equidistanziati sull'asse di riferimento spaziale, ad ognuno dei quali corrisponde un valore del parametro in oggetto. Tale sequenza rappresenta la serie temporale relativa a quel parametro. Tutte le serie temporali (una per ogni parametro campionato nella sezione), sono generate con il medesimo passo di campionatura e sono composte quindi dallo stesso numero di punti: vengono successivamente memorizzate all'interno di una matrice di dati.

c) Analisi spettrale ed elaborazione di spettri di ampiezza e potenza. Le serie temporali così ottenute sono caratterizzate da una acquisizione di dati discontinua; l'andamento complessivo di queste potrebbe quindi essere più simile ad un modello ad onde quadre piuttosto che sinusoidali, in funzione del passo di campionatura utilizzato. Se il segnale rappresenta la distribuzione degli spessori o il tenore calcimetrico, questo viene preventivamente sottoposto a filtraggio (Schwarzacher, 1975), e successivamente elaborato attraverso l'algoritmo della trasformata veloce di Fourier (FFT) (Bendant & Piersol, 1971). Nel caso in cui la serie temporale sia relativa a classi codificate, in accordo con Weedon (1985, 1989), l'analisi spettrale viene effettuata utilizzando la trasformata veloce di Walsh (FWT). Il risultato di tale elaborazione è la creazione di uno spettro di ampiezza o potenza, in cui ad ogni intervallo di frequenza viene associato un corrispondente valore numerico (di ampiezza o di energia); quanto più questo è elevato, tanto maggiore sarà il controllo esercitato dalla corrispondente frequenza nella modulazione del segnale complessivo registrato sulla serie temporale.

Lo scopo fondamentale è quindi il calcolo dell'ampiezza o della potenza delle onde che compongono il segnale modulato sulla serie temporale. L'intervallo di frequenza analizzato dipende dai valori di  $N$  e  $T$  (lunghezza della serie temporale) utilizzati nell'elaborazione: in funzione di questi possono essere calcolati vari spettri relativi alla stessa sezione stratigrafica (o a sue porzioni) e con diverso grado di risoluzione nel dominio delle frequenze.

Un ulteriore tipo di analisi si basa sulla costruzione di una serie temporale nella quale è rappresentata la distribuzione nello spazio dei giunti di strato: questa è assimilabile ad un vettore numerico, in cui sia registrata una successione ordinata di valori rappresentanti la presenza o l'assenza di un giunto in quella posizione della sezione stratigrafica. Una simile serie temporale viene analizzata attraverso la SAT ed i risultati mettono in evidenza l'organizzazione dei giunti secondo gerarchie di vario ordine.

d) Interpretazione dell'analisi spettrale e conversione in valori tempo. Poiché la campionatura della sezione stratigrafica avviene attraverso misurazioni di lunghezza, le serie temporali elaborate sono in realtà delle funzioni nel dominio dello spazio e non del tempo. Anche se dal punto di vista dello sviluppo analitico dell'algoritmo ciò non comporta differenze, appare chiaro come gli spettri di energia prodotti siano funzioni di frequenze spaziali espresse sotto forma di cicli/metro, oppure di cicli/lunghezza totale della sezione (come indicato nelle figure del presente lavoro).

Per passare dal dominio dello spazio a quello del tempo è necessario ricavare il tasso medio di sedimentazione da attribuire alla porzione di sezione studiata: tale operazione richiede la taratura biostratigrafica della sezione e l'utilizzo delle scale geocro-

nologiche esistenti. Le maggiori difficoltà insite nella taratura temporale sono collegate alla variazione del tasso di sedimentazione nell'intervallo studiato, il che può talora rendere non del tutto significativo l'utilizzo del suo valore medio. Tale variazione ha come diretta conseguenza una dispersione dei picchi attorno a punti di accumulazione con energia maggiore, specie se il tasso di sedimentazione presenta variazioni casuali attorno al valore medio. Queste dispersioni sono comunque rilevate anche dall'analisi spettrale di segmenti della serie temporale, compiute con differenti valori di N ma con il medesimo passo di campionatura; attraverso di esse è inoltre possibile confrontare i risultati ottenuti con maggiore o minore grado di risoluzione sull'asse delle frequenze. La maggiore o minore energia dei picchi più stabili e lo spostamento di quelli a più elevata energia verso una delle due estremità dello spettro mettono in evidenza queste variazioni nel tasso di sedimentazione stimato (Park & Herbert, 1987; Premoli Silva et al., 1989; Weedon, 1989).

Le variazioni del tasso di sedimentazione all'interno della coppia litologica possono generare asimmetrie più o meno marcate nella distribuzione dei valori di energia e nella forma stessa dei picchi più importanti (Schwarzacher, 1989).

Anche la stima del tasso medio di sedimentazione è ovviamente influenzata dalle lacune esistenti all'interno della sezione. Una loro eventuale presenza comporta che il valore calcolato sia un limite minimo e che, in base alla percentuale presunta di sezione mancante, questo possa essere aumentato in proporzione.

Nel caso in cui le lacune, anche importanti, siano localizzate esclusivamente in corrispondenza di determinate superfici di *unconformity*, è ugualmente garantita, al di sotto ed al di sopra di dette superfici, la registrazione sedimentaria della ciclicità ad alta frequenza secondo periodicità a 100, 41 e 21 ka. In tale caso la relativa elaborazione spettrale mette in evidenza picchi le cui lunghezze stanno tra loro in accordo con le durate dei cicli previsti dalla teoria di Milankovitch. E' così possibile attribuire a ciascuno dei picchi di più alta energia l'appropriato valore milankoviano che prescinde dal tasso medio dedotto in precedenza.

### Cicli di Milankovitch nel Cretaceo del Sudalpino.

La metodologia sopra discussa è stata applicata a tre sezioni stratigrafiche pelagiche ed emipelagiche comprese nell'intervallo Barremiano-Cenomaniano: sezione di Castagnè (Monti Lessini), sezione di Ra Stua (Dolomiti ampezzane) e sezione del Torrente Cison (Prealpi bellunesi) (Fig. 1).

#### Sezione di Castagnè.

La sezione campionata (Fig. 1, A) misura complessivamente 17 m ed affiora nei Lessini lungo la strada comunale che collega Mezzante di Sotto con l'abitato di Castagnè (VR). Riferibile alla Scaglia Variegata, di cui rappresenta una facies più carbonatica (Fig. 2), essa consiste di regolari alternanze di micriti biancastre (60-80% di  $\text{CaCO}_3$ ), in

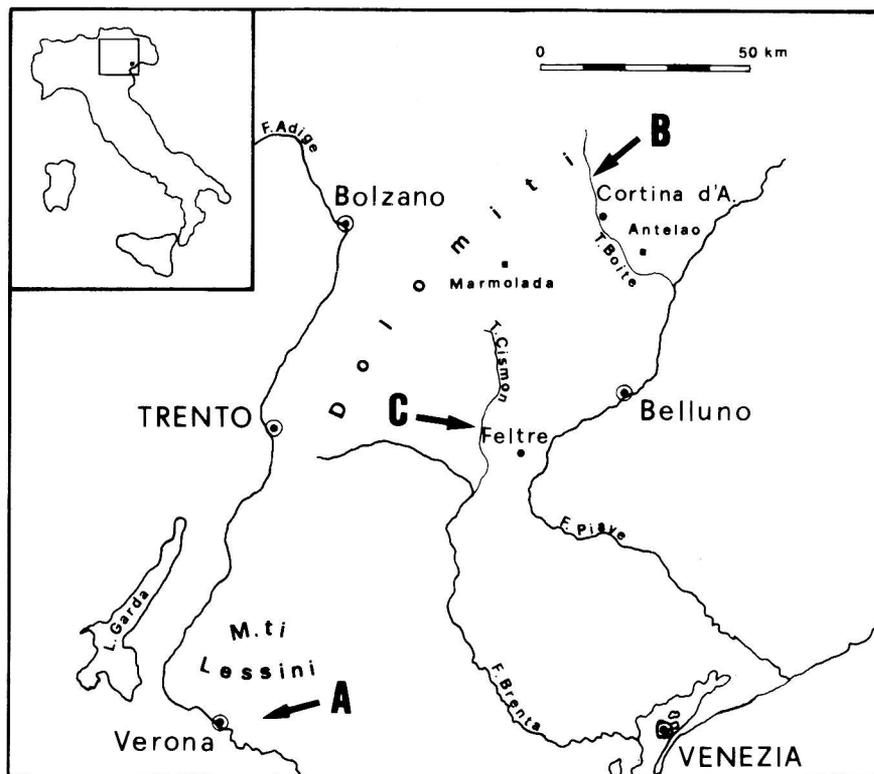


Fig. 1 - Ubicazione delle sezioni stratigrafiche studiate nel testo. A) sezione di Castagnè (Monti Lessini); B) sezione di Ra Stua (Cortina d'Ampezzo); C) sezione del T. Cison (Prealpi Bellunesi).

strati decimetrici, e marne e calcari marnosi verdi e giallastri di 1-1,5 cm (talora sino a 4 cm). In alcuni casi gli strati calcarei sono direttamente sovrapposti gli uni agli altri previa interposizione di un giunto, talvolta stilolitico, evidenziato da una pellicola marnoso-argillosa millimetrica che è stata trascurata durante il campionamento.

Il diverso spessore dei livelli marnosi permette di identificare sull'affioramento una gerarchia delle superfici di stratificazione, con *master bedding planes* evidenziati da 3-4 cm di marna (Schwarzacher & Fischer, 1982; Fischer & Schwarzacher, 1984) che delimitano fasci di strati, al cui interno si trovano superfici di stratificazione di rango inferiore, messe in evidenza da livelli marnosi variabili in spessore da 0,5 a 2 cm.

Il passaggio tra i litotipi adiacenti è graduale; distribuiti sull'intera sezione, ma meglio osservabili negli strati calcarei, si rilevano icniti del genere *Chondrites*, che in prossimità dell'interfaccia calcare-marna hanno rimescolato queste due litologie. Tali strutture, in aggiunta alla buona continuità laterale dei giunti di stratificazione, ci fanno ritenere che le alternanze litologiche sopra descritte siano il prodotto di una ciclicità primaria, solo successivamente amplificata dalla diagenesi ad essa sovrainposta.

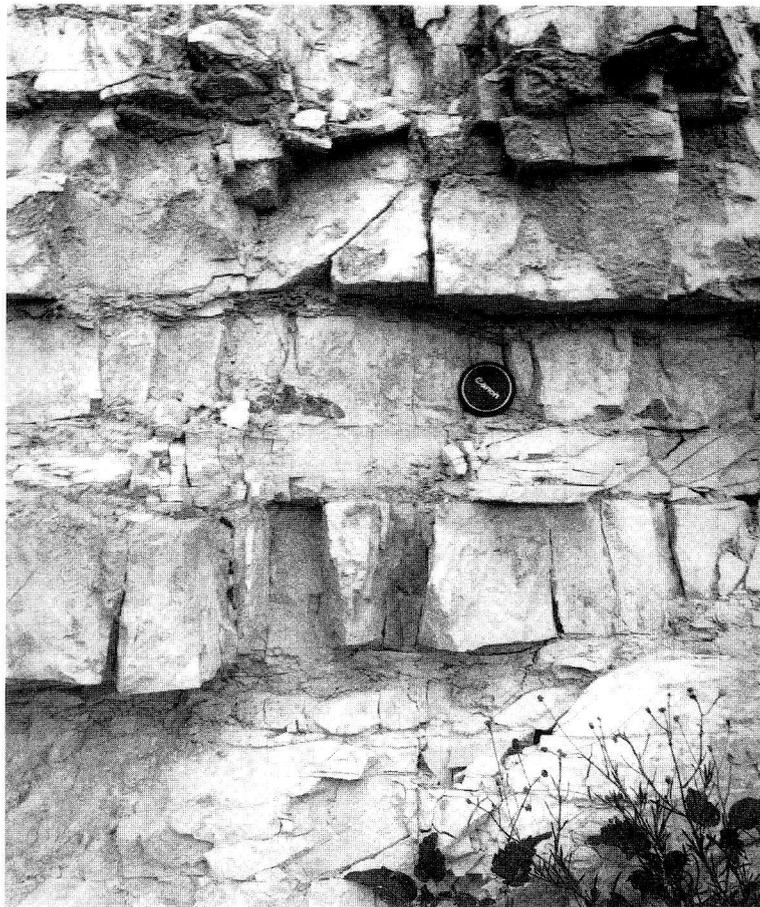


Fig. 2 - Sezione di Castagnè. Particolare delle coppie litologiche calcari-marne; i contatti tra le semicopie sono gradualì.

Lo studio biostratigrafico condotto sui Foraminiferi planctonici ha permesso, in accordo con le più recenti biozonazioni (Robaszynski et al., 1979; Caron, 1985), di collocare cronostatigraficamente la sezione tra il Cenomaniano inferiore e superiore. Dalla lunghezza della porzione di serie riferibile alla zona a *Rotalipora reicheli* (rappresentata per intero dalla sua base al tetto) ed in base alla durata della stessa (0,5 Ma) secondo la scala di Haq et al. (1987) è possibile proporre per la sezione in esame un tasso medio di sedimentazione di 1,7 cm/ka.

Interpretazione degli spettri.

L'analisi effettuata sulla ripetizione della classe litologica dei calcari marnosi (50-60% di carbonato) utilizzando la FWT (Fig. 3) pone in evidenza l'esistenza di perio-

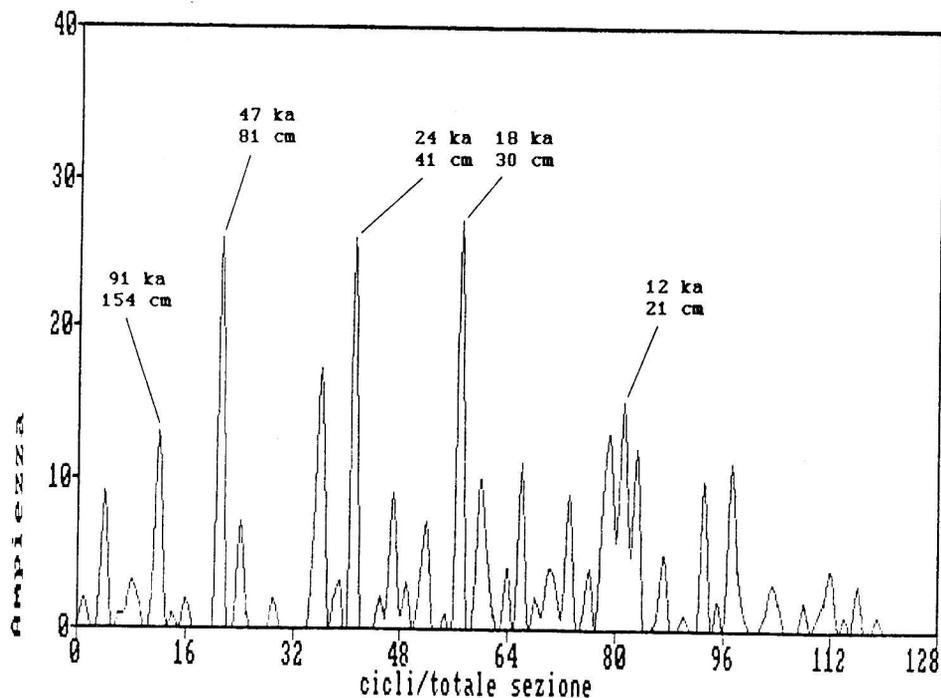


Fig. 3 - Sezione di Castagnè: spettro di ampiezza elaborato sulla classe dei calcari marnosi attraverso la FWT.

dicità riferibili ai cicli di eccentricità a corto periodo e di obliquità (rispettivamente con periodi di 91 ka e 47 ka). Nella parte alta dello spettro è presente una dispersione nell'ambito delle frequenze attribuibili al ciclo di precessione (periodo di 24-18 ka) ed una periodicità di 12 ka estranea alla classica ciclicità milankoviana, ma che altri recenti studi hanno messo in risalto (Fischer, 1986; Napoleone & Ripepe, 1989; Premoli Silva et al., 1989).

Simili risultati emergono dagli spettri di potenza relativi alla distribuzione degli spessori degli strati ed alla ripetizione dei giunti interstrato. Entrambe le elaborazioni condotte con la FFT (Fig. 4,5) sono caratterizzate da valori che oscillano da 111 a 83 ka per quanto concerne il campo dell'eccentricità, e tra 60 e 41 ka per quanto riguarda le variazioni nell'ambito dell'obliquità. In ambedue le elaborazioni è inoltre presente un picco a 18 ka, che rappresenta un periodo molto prossimo a quello attribuito alla precessione degli equinozi.

La prevalenza dei cicli di eccentricità breve su quelli di precessione ed obliquità appare perfettamente in accordo con le analisi spettrali eseguite da vari autori (De Boer, 1982; Herbert & Fischer, 1986; Premoli Silva et al., 1989) nelle Marne a Fucoidi dell'Appennino (Albiano-Cenomaniano).

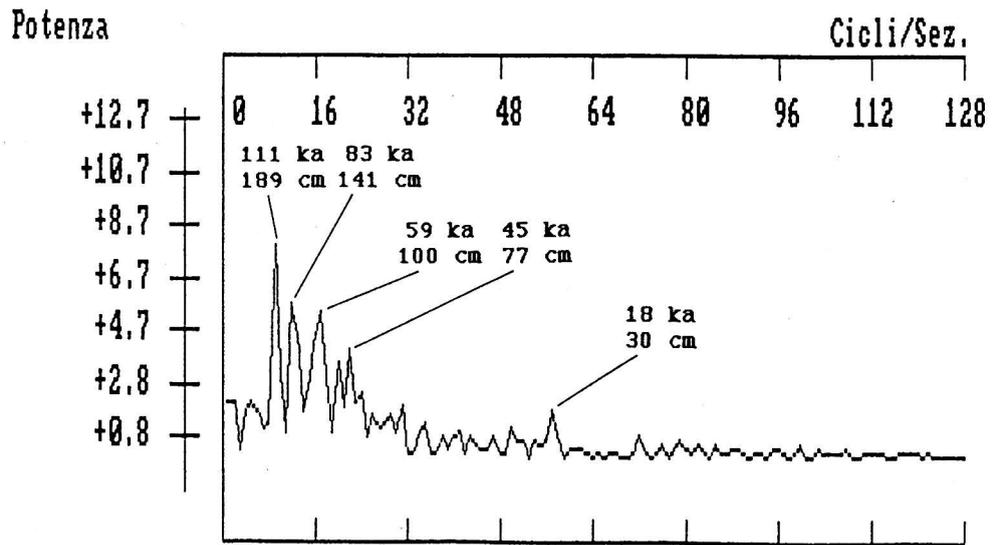


Fig. 4 - Sezione di Castagnè: spettro di potenza elaborato sulla distribuzione degli spessori degli strati attraverso la FFT.

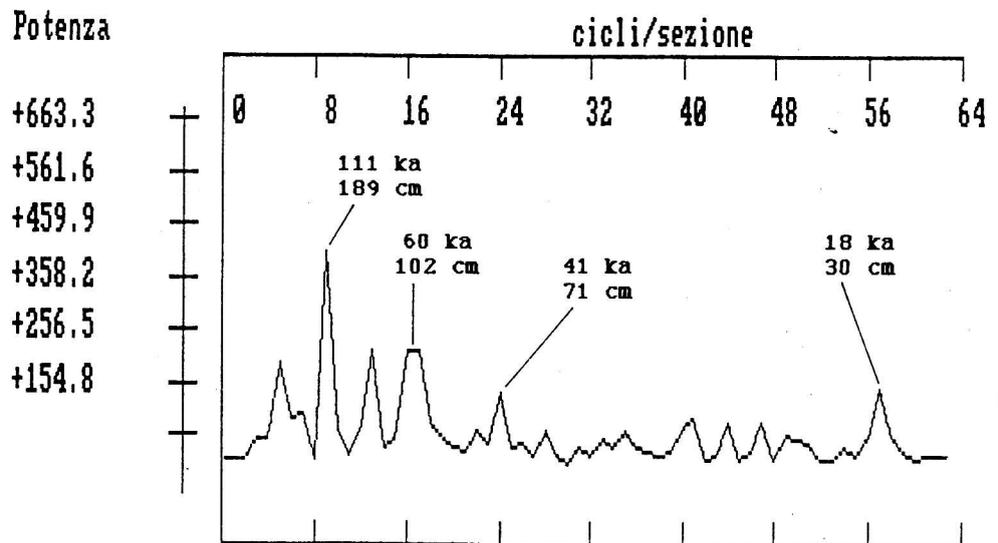


Fig. 5 - Sezione di Castagnè: spettro di potenza elaborato sulla distribuzione dei giunti interstrato attraverso la FFT.

Lo spettro relativo alla ripetizione della classe litologica dei calcari marnosi, elaborato attraverso l'algoritmo di Walsh, è invece caratterizzato dalla prevalenza dei cicli di precessione ed obliquità su quelli di eccentricità.

In accordo con quanto proposto da vari autori, noi suggeriamo che i ritmi litologici della Scaglia Variegata della successione di Castagnè siano l'espressione sedimentaria di cicli di produttività dei nannofossili calcarei. Sembra infatti ragionevole supporre che un alto grado di stagionalità, effetto diretto di un alto indice di precessione, favorisca la circolazione delle acque oceaniche e di conseguenza la risalita di nutrienti verso la superficie. A tale fase corrisponde un incremento di produttività dei nannofossili, mentre una situazione contraria viene a verificarsi durante un periodo di stratificazione delle acque. Stime qualitative da noi effettuate suggeriscono che le fluttuazioni del contenuto di Foraminiferi planctonici siano in fase con le variazioni del nannoplancton carbonatico.

#### Sezione di Ra Stua.

La sezione di Ra Stua, potente circa 25 m, affiora in corrispondenza della destra orografica del Torrente Boite a nord di Cortina d'Ampezzo (BL) in località Campo Croce (Fig. 1B). L'intera sezione, attribuita alla formazione delle Marne del Puez, è

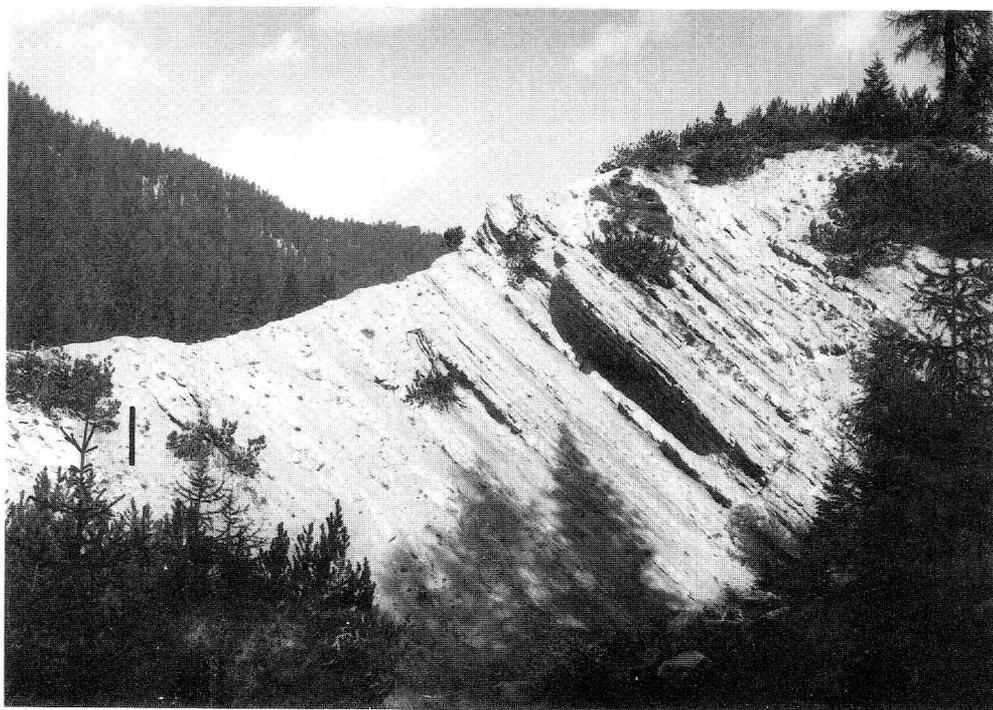


Fig. 6 - Veduta d'insieme della sezione di Ra Stua. La barra di scala equivale a 2 m.

costituita da una alternanza di calcari e calcari marnosi grigio-biancastrati in strati decimetrici (con valori massimi di 60 cm), e marne di colore più scuro in livelli di 5-15 cm (Fig. 6). Una caratteristica comune all'intero affioramento è la gradualità nel passaggio da una litologia alla successiva, per effetto di una altrettanto graduale variazione nel rapporto argilla/CaCO<sub>3</sub> (Fig. 7). La cospicua frazione terrigena fine che caratterizza le Marne del Puez è verosimilmente fornita da un'area di alimentazione collocata a settentrione della Regione Dolomitica (Scudeler Baccelle & Semenza, 1974; Doglioni & Bosellini, 1987).

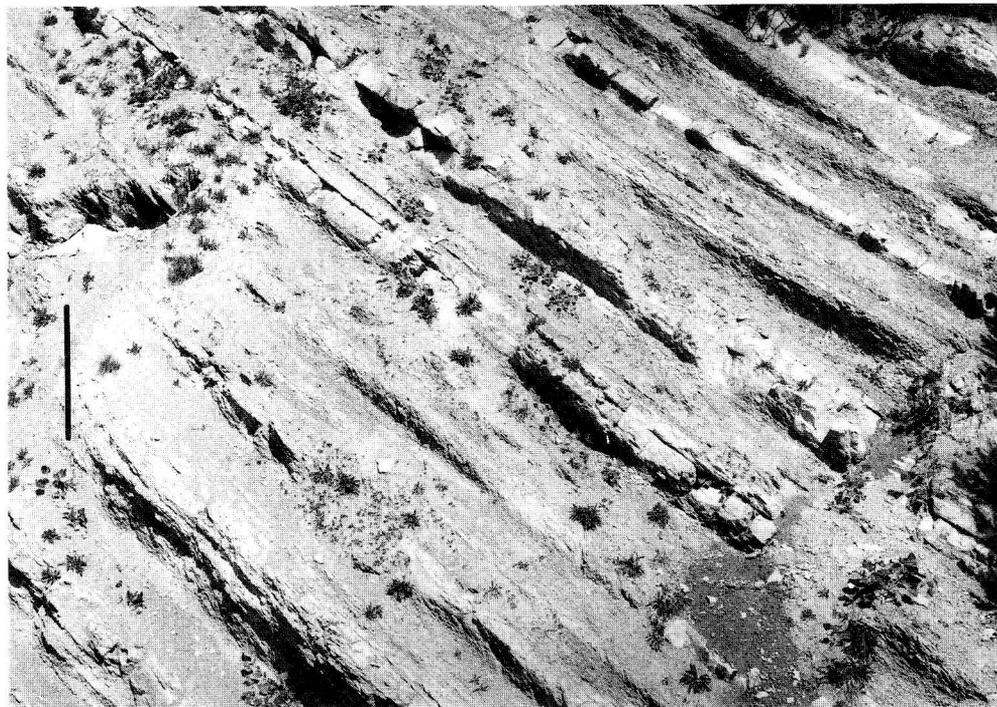


Fig. 7 - Sezione di Ra Stua. Dettaglio delle alternanze tra strati ricchi e strati poveri in carbonato; è evidente il contatto transizionale tra le due litologie. La barra di scala equivale a 1 m.

Inquadrabile all'interno del Barremiano superiore (Baccelle & Lucchi Garavello, 1967), tale sezione è nota da tempo per la sua ricca fauna ad Ammoniti. Secondo indicazioni fornite da R. Busnardo dell'Università di Lione, a cui va il nostro ringraziamento, la porzione basale della sezione rappresenta la base della zona a *Barremense*, mentre il tetto viene a cadere approssimativamente nella parte terminale della medesima zona. Utilizzando i dati forniti dalla scala geocronologica di Haq et al. (1987) e basandosi sull'evoluzione delle faune ad Ammoniti nel Barremiano superiore, è possi-

bile stimare che l'intervallo stratigrafico coperto dalla sezione in esame possa corrispondere come limite massimo a circa 1 Ma, per cui il tasso medio di sedimentazione risultante corrisponde a 2,5 cm/ka.

All'interno delle litologie campionate sono state riconosciute quattro categorie di icnogenere, che rappresentano una associazione tipica di sedimenti pelagici ed emipelagici: *Planolites*, *Thalassinoides*, *Zoophycos* e *Chondrites*. La distribuzione di questi icniti è controllata dalla natura del substrato e dal grado di ossigenazione del fondo (Ekdale et al., 1984). In particolare *Planolites* e *Thalassinoides* sembrano maggiormente frequenti nelle marne e calcari marnosi, mentre *Zoophycos* e *Chondrites* sembrano prediligere sedimenti più ricchi in carbonato e quindi più consistenti. L'esistenza soprattutto di queste due ultime classi di icniti è inoltre indicativa di una probabile fase di deficit relativo di ossigeno. La presenza di condizioni riducenti al fondo è confermata dalla locale presenza di mineralizzazioni a solfuri in icniti o in modelli interni di Ammoniti. La bioturbazione è talora talmente diffusa da generare una totale amalgamazione del sedimento.

Interpretazione degli spettri.

L'elaborazione condotta con la FFT sulla distribuzione degli spessori degli strati (Fig. 8) è caratterizzata dal netto prevalere di un picco a 101 ka, quasi perfettamente coincidente con il ciclo dell'eccentricità breve, e da una distribuzione pressochè omogenea tra 56 e 36 ka relativa ad una dispersione nell'intervallo del ciclo di obliquità. I picchi di 21 e 17 ka sono chiaramente riconducibili al campo della precessione, mentre

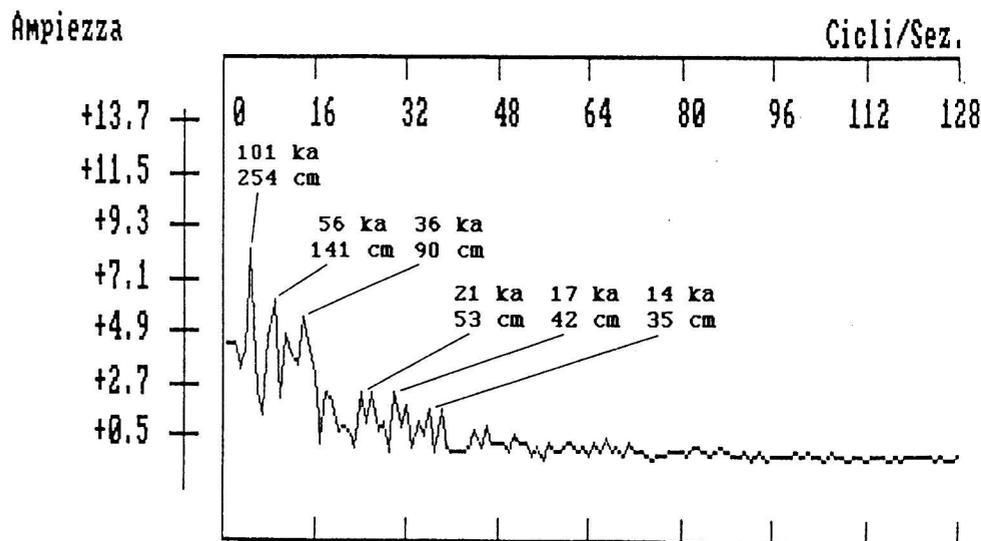


Fig. 8 - Sezione di Ra Stua: spettro di ampiezza elaborato sulla distribuzione degli spessori degli strati nella metà inferiore della serie attraverso la FFT.

la più alta frequenza, (14 ka) potrebbe rientrare all'interno di quelle periodicità submilankoviane già segnalate per la sezione di Castagnè.

Le ripetizioni delle icniti attribuite all'ichnogenere *Zoophycos* (Fig. 9) appaiono influenzate esclusivamente dal ciclo dell'eccentricità a corto termine: il picco di frequenza che emerge dall'analisi spettrale secondo la FWT evidenzia infatti distintamente una periodicità a 113 ka.

L'analisi spettrale sostanzialmente conferma, al pari della sezione di Castagnè, che la ciclicità dominante è rappresentata dalla eccentricità a breve periodo, che controlla anche la distribuzione delle icniti influenzando presumibilmente la natura del substrato.

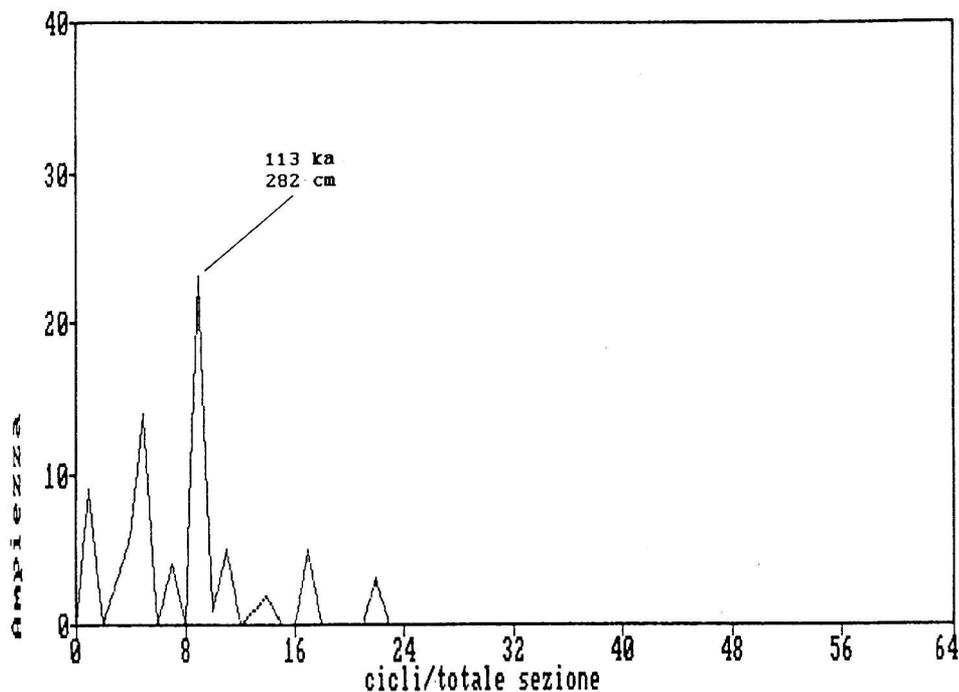


Fig. 9 - Sezione di Ra Stua: spettro di ampiezza elaborato sulla presenza della ichnofacies *Zoophycos* attraverso la FWT.

Considerando il notevole contenuto terrigeno che caratterizza le Marne del Puez, noi riteniamo probabile che i ritmi litologici osservati nella sezione di Ra Stua siano l'espressione di cicli di diluizione che potevano agire congiuntamente a cicli di produttività. Secondo tale interpretazione, un alto indice di stagionalità favoriva da una parte la convezione oceanica e quindi una elevata produttività planctonica, dall'altra una contrazione delle masse di ghiaccio continentale ed una risalita eustatica con conseguente diminuzione degli apporti terrigeni. La mancanza di qualsiasi evidenza di

glaciazioni cretache non esclude tuttavia la possibilità di sviluppo di limitate calotte polari (Fischer, 1986), in cui collocare i postulati ghiacciai continentali. La somma di tali effetti avrebbe quindi come risultato la deposizione della semicoppia litologica ricca in carbonato. Un appiattimento stagionale (basso indice di precessione) avrebbe effetti opposti, corrispondendo conseguentemente alla semicoppia povera in carbonato.

#### Sezione del Torrente Cison.

L'intervallo stratigrafico misurato appartiene a una potente sezione cretacea affiorante lungo la strada statale del Passo Rolle (Fig. 1,C), sulla destra idrografica del torrente Cison. L'intera successione ha una potenza complessiva di ca. 450 m e comprende l'intervallo Valanginiano-Campaniano, corrispondente dal punto di vista formazionale al Biancone, alla Scaglia Variegata e alla Scaglia Rossa (Channell et al., 1978). In essa sono localmente osservabili *slumps* e troncature intraformazionali chiaramente diagnostici della presenza di pendii deposizionali.

La sezione analizzata (8,5 m) è caratterizzata dall'alternanza a scala decimetrica di due differenti litotipi: calcari bioturbati di colore bianco e marne grigio-scure o nere ad elevata fissilità (Fig. 10); i tenori calcimetrici medi variano rispettivamente dal 90%



Fig. 10 - Sezione del T. Cison. Particolare dei ritmi calcareo-marnosi a scala decimetrica corrispondenti ai cicli di precessione.

al 50%. Le coppie calcareo-marnose presentano una organizzazione in *bundles* metrici, evidenziata dalla presenza di *master bedding planes* (Fig. 11). Il tetto della sezione è rappresentato da un livello di *black shales* di circa 30 cm di spessore. Tale livello è costituito da argilliti nere (10% CaCO<sub>3</sub>) ricche di carbonio organico, contenenti scaglie di pesci ed altri resti fossili talora piritizzati. Noto in letteratura come Livello Bonarelli, tale orizzonte rappresenta la registrazione locale di un evento anossico globale (OAE di Jenkins, 1980; Arthur & Premoli Silva, 1982; De Boer, 1982).

La presenza di bioturbazioni verticali che rimescolanoemicoppie adiacenti, la preservazione e la notevole regolarità e continuità laterale della stratificazione sono indizi che fanno ritenere che anche in questo caso le alternanze litologiche osservate siano essenzialmente di tipo primario, solo blandamente amplificate dalla diagenesi sovrainposta.

Dal punto di vista cronostratigrafico la sezione occupa la parte medio-alta dell'Albiano e l'intero Cenomaniano; utilizzando sia la durata della zona a *Rotalipora cushmani* che la durata dell'intero Cenomaniano si può proporre un tasso medio di sedimentazione di 0,6 cm/ka (Haq et al., 1987).



Fig. 11 - Sezione del T. Cismon. E' evidente l'organizzazione gerarchica della stratificazione secondo due ordini di ciclicità: coppie decimetriche strato calcareo-interstrato marnoso raggruppati in *bundles* a scala metrica.

Interpretazione degli spettri.

Sono stati analizzati attraverso la FFT il parametro calcimetrico (Fig. 12) e la distribuzione degli spessori degli strati (Fig. 13). L'analisi spettrale condotta sulla serie temporale calcimetrica è caratterizzata da 7 picchi di maggiore ampiezza, indicati in figura dalle lettere da A a G, corrispondenti a valori di lunghezza compresi tra 143 e 11 cm. Se convertiamo tali misure in periodicità temporali assumendo il tasso di sedimentazione proposto (0,6 cm/ka) otteniamo una distribuzione di valori (238, 95, 50, 40, 33, 28 e 18 ka) sostanzialmente dissimile da quella ottenuta nelle altre sezioni. In particolare una periodicità di 238 ka (picco A) sarebbe estranea al *range* milankoviano e molto maggiore del ciclo dell'eccentricità breve altrove dominante. Tuttavia, in accordo con quanto proposto da Weedon (1985), se consideriamo che: a) i rapporti relativi tra le frequenze dei picchi dominanti in entrambe le analisi spettrali mostrano una buona concordanza con le periodicità previste dalla teoria di Milankovitch, b) in alcuni intervalli della sezione del T. Cismon adiacenti a quello misurato sono localmente presenti scivolamenti e troncature intraformazionali, possiamo postulare che la successione sia stata controllata da fluttuazioni climatiche e che il tasso di sedimentazione proposto, prescindendo da lacune non direttamente osservabili sul terreno, sia sostanzialmente sottostimato. Assumendo quindi che il picco di maggiore importanza (143 cm) corrisponda al ciclo dell'eccentricità breve e rappresenti quindi 100 ka, si ottiene un tasso di sedimentazione di circa 1,4 cm/ka che prescinde dalle lacune intervenute successivamente alla deposizione. In accordo con tale valore, il picco B (57 cm) di Fig. 12, che sta al precedente picco A come il ciclo dell'obliquità sta a quello dell'eccentri-

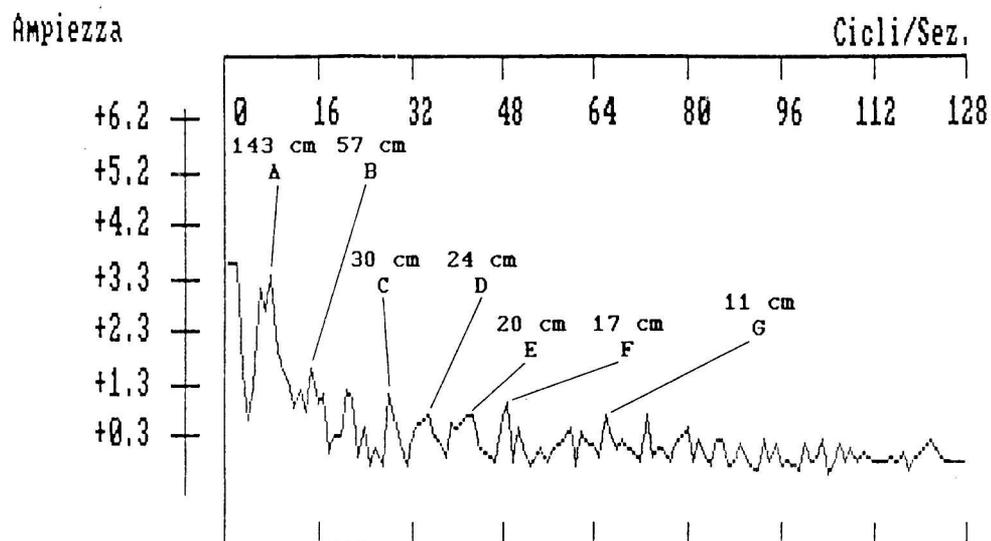


Fig. 12 - Sezione del T. Cismon: spettro di ampiezza elaborato sulla serie temporale del parametro calcimetrico attraverso la FFT. Le lettere indicano le frequenze citate nel testo.

cià breve, corrisponderebbe quindi a 41 ka. Le periodicità C e D (30 e 24 cm) corrispondenti a 21 e 17 ka sarebbero quindi perfettamente allineate con i valori previsti per il ciclo di precessione e possono perciò giustificare l'assunto fatto. Il valore proposto per il tasso di sedimentazione porterebbe i restanti picchi di minore ampiezza E, F e G (20, 17 e 11 cm) a coincidere con un intervallo di valori compreso tra 14 e 8 ka, evidenziando quindi frequenze submilankoviane, come già riportato nelle altre sezioni studiate.

La conversione in termini di tempo condotta sull'analisi spettrale della distribuzione degli spessori (Fig. 13), utilizzando il medesimo tasso medio di sedimentazione (1,4 cm/ka), conferma i valori prima discussi, individuando periodi di 100, 43, 23 e 16 ka relativi ai picchi di maggiore importanza A, B, C e D. Come nel caso precedente le restanti frequenze mostrano un *range* di variabilità submilankoviano tra 13 e 8 ka.

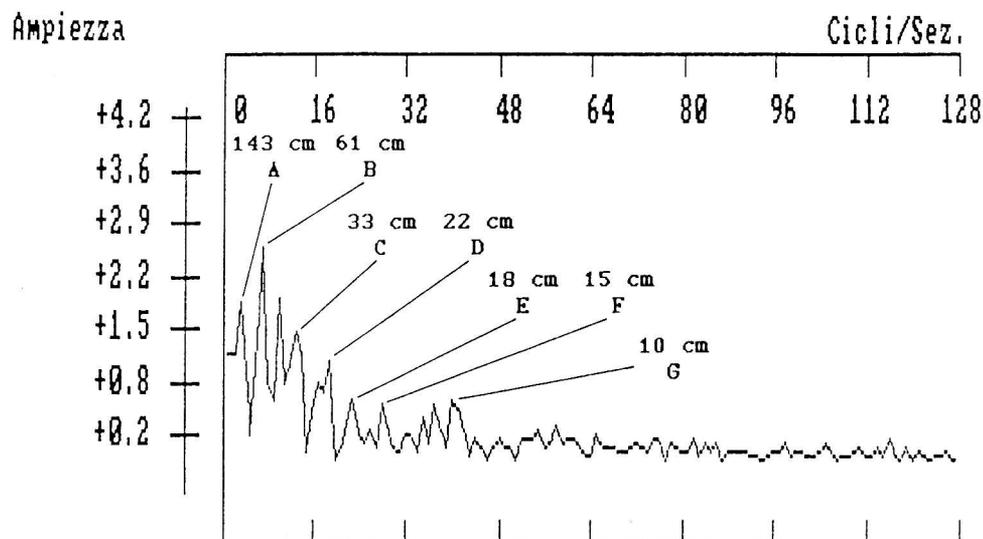


Fig. 13 - Sezione del T. Cison: spettro di ampiezza elaborato sulla distribuzione degli spessori nella metà inferiore della serie attraverso la FFT. Le lettere indicano le frequenze citate nel testo.

Con le opportune correzioni apportate al tasso di sedimentazione, l'analisi spettrale condotta sulla porzione superiore dell'intervallo Albiano-Cenomaniano nella sezione del Cison ha messo in evidenza una ciclicità sedimentaria la cui periodicità è perfettamente inquadrabile nella banda milankoviana. Sono tuttavia presenti, come d'altronde evidenziato in altre sezioni, frequenze submilankoviane. In base alle caratteristiche sedimentologiche delle alternanze litologiche osservate ed a osservazioni qualitative, è ragionevole postulare un meccanismo genetico basato su variazioni di produttività dei nannofossili calcarei, come già indicato per la sezione di Castagnè.

### Sommario e conclusioni.

E' stata condotta, per la prima volta nel Sudalpino, l'analisi spettrale di tre successioni pelagiche ed emipelagiche allo scopo di verificare la presenza di un controllo climatico di tipo milankoviano. Sono state analizzate le periodicità presenti nei segnali costruiti sulla base di calcimetrie, spessori, litologie e icnogeneri, utilizzando, per questi ultimi due casi, elaborazioni basate sull'algoritmo di Walsh. Si auspica quindi che i risultati ottenuti possano essere confermati e confrontati con le coeve sezioni dell'Appennino, attraverso l'analisi delle fluttuazioni qualitative e quantitative del nanoplankton e dei Foraminiferi planctonici (Premoli et al., 1989; Tornaghi et al., 1989).

In tutti gli spettri presentati emerge abbastanza chiaramente che i ritmi sedimentari analizzati sembrano ripetersi secondo le periodicità previste dalla teoria di Milankovitch, con prevalenza dei cicli di eccentricità a 100 ka; sono tuttavia emerse periodicità di circa 10 ka, che si collocano in un intervallo ad essa inferiore. Il frequente ritrovamento di tali periodicità segnalato in recenti lavori (Fischer, 1986; Masetti et al., 1988; Cottle, 1989; Premoli Silva et al., 1989) induce tuttavia a ritenere che esse potrebbero rappresentare qualcosa di più di un semplice artificio dell'elaborazione spettrale o di una peculiarità della sezione esaminata. Riteniamo pertanto suggestiva l'ipotesi che la sedimentazione pre-pleistocenica sia stata controllata da perturbazioni orbitali non previste dalla teoria di Milankovitch.

La ritmicità osservata potrebbe essere generata, in accordo con quanto segnalato nelle coeve sezioni dell'Appennino (De Boer & Wonders, 1984; Premoli Silva et al., 1989), da cicli di produttività carbonatica che nella sezione di Ra Stua avrebbero agito in combinazione con cicli di diluizione.

Nelle sezioni di Castagnè e Ra Stua il tasso di sedimentazione estrapolato sulla base delle scale geocronologiche esistenti permette una soddisfacente conversione dei valori di lunghezza in corrispondenti periodicità temporali previste dalla teoria di Milankovitch. Ciò presuppone sia l'assenza di importanti lacune nella sezione sia una corretta stima, da parte della scala geocronologica utilizzata, della durata dell'intervallo stratigrafico considerato. Nella sezione del Cismon l'utilizzo del tasso di sedimentazione stimato non avrebbe invece consentito tale operazione, nonostante gli spettri elaborati siano caratterizzati da picchi principali che stanno tra loro secondo le classiche frequenze milankoviane. Si è quindi dovuto proporre un tasso reale di sedimentazione più che doppio rispetto a quello stimato, ipotizzando che la sezione fosse incompleta per la presenza di importanti lacune. Il calcolo del valore utilizzato nella successiva conversione è reso possibile grazie alla similitudine riscontrata tra l'organizzazione dei cicli milankoviani (1:2:5) ed i rapporti tra i periodi calcolati, nel dominio dello spazio, con l'analisi spettrale proposta. In questo modo si sono potuti attribuire a questi ultimi le durate di 21, 41 e 100 ka. Risultano così esemplificate alcune fra le molteplici potenzialità offerte dall'analisi spettrale applicata alla ciclostratigrafia. Lo sviluppo di questa metodologia potrà infatti consentire la taratura cronostatigrafica, in ausilio alle scale cronologiche esistenti, di successioni sedimentarie depositate sotto un controllo climatico milankoviano e al riconoscimento di lacune in esse presenti.

*Ringraziamenti.*

Gli autori ringraziano: I. Premoli Silva e M. Ripepe per gli utili suggerimenti prestati durante la preparazione del lavoro e la revisione del manoscritto; A. Bosellini e C. Neri per la lettura critica del manoscritto; R. Busnardo per avere messo a disposizione dati inediti sulla biostratigrafia ad Ammoniti delle Marne del Puez; G. Weedon e L. Laponi per avere fornito suggerimenti utili alla messa a punto del software applicativo. Si ringraziano inoltre i tecnici G. Balboni e R. Brandoli per l'esecuzione delle sezioni sottili e la preparazione del materiale fotografico.

## BIBLIOGRAFIA

- Arthur M. A. & Premoli Silva I. (1982) - Development of widespread organic carbon-rich strata in the Mediterranean Tethys. In Schlanger S.O. & Cita M.B. (Eds.) - Nature and origin of Cretaceous carbon-rich facies, pp. 7-54, 20 fig., 2 tab., Academic Press, London.
- Arthur M. A., Dean W. E., Bottjer D. & Scholle P. A. (1984) - Rhythmic bedding in Mesozoic-Cenozoic pelagic carbonate sequences - the primary and diagenetic origin of Milankovitch-cycles. In Berger A. et al. (Eds.) - Milankovitch and Climate, Pt. 1, Nato Asi, s.C, v. 126, pp. 191-222, 12 fig., 1 tab., D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht.
- Baccelle L. & Lucchi Garavello A. (1967) - Ammoniti dei livelli cretacicci di La Stua (Cortina d'Ampezzo). *Ann. Univ. Ferrara*, sez. IX Sc. Geol. Pal., v. 4, n. 9, pp. 117-153, 3 tav., 1 fig., 3 tab., Ferrara.
- Bendat J. S. & Piersol A. G. (1971) - Random Data: analysis and procedure. V. di 407 pp., 127 fig., 13 tab., John Wiley and Sons Inc., New York.
- Berger A. (1978) - Long-term variations of caloric insolation resulting from Earth's orbital elements. *Quaternary Res.*, v. 9, pp. 139-167, Duluth.
- Berger A. (1984) - Accuracy and frequency stability of the Earth's orbital elements during the Quaternary. In Berger A. et al. (Eds.) - Milankovitch and Climate, Pt. 1, Nato Asi, s. C, v. 126, pp. 1-39, 9 fig., 4 tab., D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht.
- Caron M. (1985) - Cretaceous Plantik Foraminifera. In Bolli H.M., Sanders J.B. & Perch-Nielsen K. (Eds.) - Plankton Stratigraphy, pp. 17-87, 37 fig., 1 tab., Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Channell J.E.T., Lowrie W. & Medizza P. (1978) - Middle and early Cretaceous magnetic stratigraphy from the Cison section, Northern Italy. *Earth Planet. Sc. Lett.*, v. 42, pp. 153-166, 14 fig., Amsterdam.
- Cottle R. A. (1989) - Orbitally mediated cycles from the Turonian of southern England: their potential for high resolution stratigraphic correlation. *Terra Nova*, v. 1, n. 5, pp. 426-431, 4 fig., 2 tab., Oxford.
- De Boer P.L. (1982) - Cyclicality and storage of organic matter in Middle Cretaceous pelagic sediment. In Einsele G. & Seilacher A. (Eds.) - Cyclic and Event Stratification, pp. 456-475, 5 fig., Springer Verlag New York, New York.
- De Boer P.L. & Wonders A.A.H. (1984) - Astronomically induced rhythmic bedding in Cretaceous pelagic sediment near Moria (Italy). In Berger A. et al. (Eds.) - Milankovitch and Climate, Pt. 1, Nato Asi, s.C, v. 126, pp. 174-190, 4 fig., D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht.

- Doglion C. & Bosellini A. (1987) - Eoalpine and Mesoalpine tectonics in the Southern Alps. *Geol. Rundsch.*, v. 76, n. 3, pp. 735-754, 16 fig., Stuttgart.
- Einsele G. (1982) - Limestone-marl cycles (periodites) - diagnose, significance, causes, a review. In Einsele G. & Seilacher A. (Eds.) - *Cyclic and Event Stratification*, pp. 8-53, 14 fig., 2 tab., Springer Verlag New York, New York.
- Ekdale A. A., Bromley R. G. & Pemberton S. G. (1984) - Ichnology - the use of trace fossils in sedimentology and stratigraphy. Short Course 15, *Soc. Econ. Paleont. Min.*, sp. publ. n. 15, 317 pp., 6 fig., Tulsa.
- Fischer A. G. (1986) - Climatic rhythms recorded in strata. *Ann. Rev. Earth Planet. Sc.*, v. 14, pp. 351-376, 4 fig., Palo Alto.
- Fischer A. G. & Schwarzacher W. (1984) - Cretaceous bedding rhythms under orbital control? In Berger A. et al. (Eds.) - *Milankovitch and Climate*, Pt. 1, Nato Asi, s.C, v. 126, pp. 163-175, 2 fig., 3 tab., D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht.
- Fischer A. G., De Boer P.L. & Premoli Silva L. (1990) - Cyclostratigraphy. In Ginsburg R. N. & Beaudoin B. (Eds.) - *Cretaceous Resources, Events and Rhythms. Background and plans for research*, Nato Asi, s. C, v. 304, pp. 139-172, 11 fig., Kluwer Academic Publ., Dordrecht.
- Gilbert G.K. (1895) - Sedimentary measurements of geologic time. *Journ. Geol.*, v. 3, pp. 121-127, Chicago.
- Harland W.B., Cox A. V., Llewellyn P. G., Pickton C.A.G., Smith A. G. & Walters R. (1982) - In Cook A.H. (Eds.) - *A geologic Timescale*. V. di 131 pp., 24 fig., 7 tab., Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Haq B. W., Hardenbol J. & Vail P. R. (1987) - Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Sciences*, v. 235, pp. 1156-1167, 5 fig., Washington.
- Hays J. D., Imbrie J. & Shackleton N. J. (1976) - Variations in the Earth's orbit: pacemaker of the Ice Ages. *Sciences*, v. 194, n. 4270, pp. 1121-1132, 9 fig., 6 tab., Washington.
- Herbert T. D. & Fischer A. G. (1986) - Milankovitch climatic origin of mid-Cretaceous black shale rhythms in central Italy. *Nature*, v. 321, pp. 739-743, 3 fig., London.
- House M. R. (1985) - A new approach to an absolute time scale from measurements of orbital cycles and sedimentary microrhythms. *Nature*, v. 315, pp. 721-725, 5 fig., 2 tab., London.
- Imbrie J., Hays J. D., Martinson D. G., McIntyre A., Mix A. C., Morley J. J., Pisias N. G., Prell W. L. & Shackleton N. J. (1984) - The orbital theory of Pleistocene climate-support from a revised chronology of the marine  $\delta^{18}\text{O}$  record. In Berger A. et al. (Eds.) - *Milankovitch and Climate*, Pt. 1, Nato Asi, s. C, v. 126, pp. 269-305, 11 fig., 7 tab., D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht.
- Jenkins H. C. (1980) - Cretaceous anoxic events: from continents to oceans. *Journ. Geol. Soc.*, v. 137, pp. 171-188, 6 fig., London.
- Masetti D., Stefani M. & Burchell M. (1988) - Asymmetric cycles in the Rhaetic facies of Southern Alps: platform-basin interaction governed by eustatic and climatic oscillation. *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 94, n. 3, pp. 401-424, 10 fig., Milano.
- Milankovitch M. (1941) - Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem. *Acad. R. Serbe*, v. 133, pp. 1-633, Belgrade.
- Napoleone G. & Ripepe M. (1989) - Cyclic geomagnetic changes in Mid-Cretaceous rhythmites, Italy. *Terra Nova*, v. 1, n. 5, pp. 437-442, 4 fig., Oxford.
- Park J. & Herbert T. D. (1987) - Hunting for paleoclimatic periodicities in a geologic time series with on uncertain time scale. *Journ. Geophys. Res.*, v. 92, pp. 14027-14040, 10 fig., Washington D.C.

- Pestiaux P. & Berger A. (1984) - An optimal approach to the spectral characteristics of deep-sea climatic records. In Berger A. et al. (Eds.) - *Milankovitch and Climate*, Pt. 1, Nato Asi, s. C, v. 126, pp. 417-445, 10 fig., 1 tab., D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht.
- Premoli Silva I., Ripepe M. & Tornaghi M. E. (1989) - Planktonic foraminiferal distribution record productivity cycles: evidence from the Aptian-Albian Piobbico core (Central Italy). *Terra Nova*, v. 1, n. 5, pp. 443-448, 5 fig., Oxford.
- Ricken W. (1987) - The carbonate compaction law: a new tool. *Sedimentology*, v. 34, pp. 571-584, 7 fig., Amsterdam.
- Ripepe M. (1988) - Stratabase: a stratigraphical and processing program for microcomputers. *Computers & Geosciences*, v. 14, n. 3, pp. 369-375, 5 fig., 1 tab., London.
- Ripepe M. (1990) - Risposta del sistema geologico alle variazioni orbitali. In *La Geologia italiana degli anni 90, 75° Congr. Naz. Soc. Geol. It.*, Riassunti relazioni ad invito, pp. 122-128, 5 fig., Milano.
- Robaszynsky F., Caron M. coord. & Eur. Work Group Plankt. Foram. (1979) - Atlas of Mid-Cretaceous Planktonic Foraminifera (Boreal Sea and Tethys). *Cabiers Micropaléont. C.N.R.S.*, v. 1, pp. 1-185; v. 2, pp. 1-181, 80 tav., Paris.
- Ruddiman W. F. & McIntyre A. (1984) - Oceanic climate theories on the North Atlantic. In Berger A. et al. (Eds.) - *Milankovitch and Climate*, Pt. 1, Nato Asi, s. C, v. 126, pp. 671-686, 6 fig., 1 tab., D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht.
- Schwarzacher W. (1975) - Sedimentation models and quantitative stratigraphy. V. di 382 pp., 110 fig., 14 tab., Elsevier Scient. Publ. Comp., Amsterdam.
- Schwarzacher W. (1989) - Milankovitch cycles and the measurements of time. *Terra Nova*, v. 1, n. 5, pp. 405-408, 4 fig., 1 tab., Oxford.
- Schwarzacher W. & Fischer A. G. (1982) - Limestone-shale bedding and perturbations of the Earth's orbit. In Einsele G. & Seilacher A. (Eds.) - *Cyclic and Event Stratification*, pp. 73-95, 7 fig., 1 tab., Springer Verlag New York, New York.
- Scudeler Baccelle L. & Semenza E. (1974) - Flysch terrigeno con strutture contornitiche nel Cretacico delle Dolomiti ampezzane. Caratteristiche sedimentologiche e significato geodinamico. *Ann. Univ. Ferrara*, sez. IX Sc. Geol. Paleont., v. 5, n. 9, pp. 165-199, 4 tav., 2 fig., Ferrara.
- Tornaghi M.E., Premoli Silva I. & Ripepe M. (1989) - Lithostratigraphy and planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Aptian-Albian "Scisti a Fucoidi" in the Piobbico core, Marche, Italy: background for Cyclostratigraphy. *Riv. It. Paleont. Strat.*, v. 95, n. 3, pp. 223-264, 5 tav., 4 fig., Milano.
- Van Hinte J. E. (1978) - A Cretaceous time scale. In Cohee G. V. et al. (Eds.) - *Contribution to the geologic time scale. Amer. Ass. Petr. Geol.*, Studies in Geology, n. 6, pp. 269-287, 9 fig., Tulsa.
- Weedon G. P. (1985) - Hemipelagic shelf sediment and climatic cycles: the basal Jurassic (Blue Lias) of South Britain. *Earth Planet. Sc. Lett.*, v. 76, pp. 321-335, 7 fig., Amsterdam.
- Weedon G. P. (1989) - The detection and illustration of regular sedimentary cycles using Walsh power spectra and filtering with examples from Lias of Switzerland. *Journ. Geol. Soc.*, v. 146, pp. 133-144, 8 fig., London