

Verifica degli effetti della diagenesi nei sedimenti pelitici della sinclinale Vetto-Carpineti (prov. di Reggio Emilia e Parma): risultati preliminari

ALESSANDRA FAILLA

Istituto di Mineralogia e Petrografia dell'Università, Piazza di Porta S. Donato 1, 40127 Bologna

RIASSUNTO. — Nel presente lavoro si verifica l'applicabilità, a campionature di superficie, delle metodologie comunemente usate per valutare l'evoluzione diagenetica in serie stratigrafiche, campionate con carotaggi profondi.

Viene presa in considerazione la successione arenaceo-pelitica di Ranzano e Antognola, affiorante al margine sud-orientale della sinclinale Vetto-Carpineti (Appennino settentrionale).

I parametri considerati sono:

- grado di illitizzazione degli interstratificati disordinati I/S, valutato sulla base del valore v/p , relativo al riflesso diffrattometrico a 17 Å (campione glicolato);
- riflettanza della vitrinite con obiettivo immerso in olio (Ro %).

Entrambi i parametri non risultano influenzati da effetti retrogradi nelle condizioni chimico-fisiche di superficie.

Lo studio della campionatura individua degli andamenti nella reazione di illitizzazione per diagenesi degli interstratificati I/S e nei valori della riflettanza della vitrinite che sono in relazione con la profondità stratimetrica.

Parole chiave: diagenesi, sedimenti pelitici, interstratificati disordinati I/S, riflettanza della vitrinite.

DIAGENETIC EVOLUTION OF PELITIC SEDIMENTS FROM VETTO-CARPINETI SYNCLINE (REGGIO EMILIA AND PARMA PROVINCES): PRELIMINARY RESULTS

ABSTRACT. — An attempt to apply the common methodologies, used to study the diagenetic evolution of stratigraphic series, sampled by cores, to surface samplings, has been done.

The stratigraphic sequence of Ranzano and Antognola (mainly made of sandstones and pelites), outcropping to the south-eastern margin of the Vetto-Carpineti syncline (Northern Apennines), has been sampled for this purpose.

The parameters used are:

- illitization degree of random mixed-layer clays I/S, valued on the basis of the ratio v/p of the 17 Å peak of glycolated diffraction pattern;
- vitrinite reflectance (Ro % in oil).

Both parameters do not seem influenced by retrograde effects due to the uplift to surface environment.

A good correlation between the stratimetric depth and the increase of illitization and of vitrinite reflectance values is shown.

Key words: diagenesis, pelitic sediments, random mixed layer clays I/S, vitrinite reflectance.

Introduzione

I processi diagenetici sono stati oggetto di molti studi e ricerche negli ultimi 20 anni. Grazie all'ausilio di tecniche analitiche sofisticate e alla grande mole di dati ricavati dai carotaggi nei campi petroliferi, dove vengono costantemente registrate le variazioni del gradiente geotermico, si è arrivati a delineare modelli e zoneografie (LOPATIN, 1971; KISCH, 1983; KUBLER, 1983) utili come punto di partenza, per comprendere il ruolo della temperatura e della pressione nell'evoluzione postdeposizionale delle rocce, fino ai limiti del metamorfismo.

Seguendo il lavoro di BURST (1969) e PERRY and HOWER (1970) sulla diagenesi dei sedimenti argillosi della Gulf Coast, diversi altri autori (FOSCOLOS et al., 1976; HELING, 1978; POWELL et al., 1978) hanno studiato le trasformazioni post-deposizionali dei sedimenti di diversi bacini europei e nord-americani. In questi ed in altri studi, eseguiti su frazioni granulometriche non sempre confrontabili fra di loro e senza standardizzazione delle metodologie, viene segnalata, all'aumentare della profondità, la scomparsa della smectite attraverso la formazione di interstratificati illite/smectite (I/S), pro-

gressivamente più ricchi di strati illitici. Per tale reazione è stato proposto un meccanismo di trasformazione allo stato solido: gli strati illitici si formano per graduale sostituzione di Al^{3+} al Si^{4+} nelle posizioni tetraedriche delle smectiti, per fissaggio di K^+ nelle posizioni di interstrato e concomitante espulsione di acqua.

Tale processo viene sostanzialmente revisionato dal lavoro di NADEAU et al. (1985). Con l'aumentare della profondità di seppellimento, si verificherebbe una dissoluzione di smectite e precipitazione di illite; le « miscele » dei due tipi di particelle darebbero una risposta diffrattometrica corrispondente a quella comunemente nota per gli interstratificati I/S.

Nonostante questa nuova interpretazione degli interstratificati, risulta sempre conveniente e pratico differenziare gli I/S sulla base della loro espandibilità e quindi del contenuto % di strati smectitici.

La reazione di illitizzazione degli I/S è controllata dalla profondità, dal gradiente geotermico e dal fattore tempo. Una esauriente rassegna di tutti i più recenti dati di temperatura e profondità corrispondenti ai diversi stadi della reazione, è in KIRSCH (1983).

In particolare, nelle serie studiate da PERRY & HOWER (1970), BOLES & FRANKS (1979), PEARSON et al. (1981) gli interstratificati disordinati I/S subiscono una graduale diminuzione di espandibilità, nell'intervallo di temperature compreso fra 55-100° C, passando dal 100-80 % di strati smectitici al 40-35 %. Gli stessi autori registrano, in corrispondenza del 35 % di strati smectitici, il riordinamento dell'interstratificato, in un range di temperature comprese fra 95-120° C.

Alcuni studi recenti (HELING & TEICHMULLER, 1974; FOSCOLOS et al., 1976; POWELL et al., 1978; KUBLER, 1983) correlano le trasformazioni diagenetiche dei minerali argillosi con il grado di carbonificazione della sostanza organica associata al sedimento, determinato attraverso la riflettanza della vitrinite. Si evidenzia così la possibilità di correlare il passaggio da smectite a interstratificato I/S con l'inizio della « finestra a olio » (O.W. = oil window, F.H.P. = fenêtre à huile potentielle) e cioè con la soglia di maturazione del kerogene, che me-

diamente avviene per un valore della riflettanza della vitrinite (con obiettivo immerso in olio) corrispondente a 0,5 %.

Per alcuni autori (AMMOV et al., 1975; PRICE, 1983) la riflettanza della vitrinite può essere considerata un indicatore di temperature assolute. Essa registra la temperatura massima dell'evento termico che ha determinato la diagenesi del sedimento e non manifesta trasformazioni retrograde.

1. Finalità del lavoro e criteri di campionatura

Questo lavoro ha lo scopo di verificare sperimentalmente l'applicabilità di alcune metodologie per la valutazione della diagenesi, alla successione di Ranzano e di Antognola, affiorante al margine sud-orientale della sinclinale Vetto-Carpineti.

Le tecniche di valutazione del grado della diagenesi, basate sullo studio di campioni tramite perforazioni, non possono essere applicate in modo acritico ad una successione di sedimenti campionata lungo un tracciato di affioramento naturale. Sarà quindi necessario precisare i possibili aspetti limitativi per il significato della campionatura in superficie rispetto a quella ottenuta per sondaggio.

1) Per il campione in affioramento potrà essere calcolata una quota stratimetrica di profondità rispetto ad un riferimento opportunamente scelto nell'ambito della successione stessa. Questa quota sarà senz'altro proporzionale ad un seppellimento pregresso, ma non potrà avere un riferimento temporale quantificabile.

2) La valutazione del seppellimento pregresso sarà tanto più problematica quanto più il tracciato di campionatura si discosta dalla verticale stratigrafica; questo soprattutto nel caso che la successione in esame sia inserita in un quadro paleogeografico molto articolato e con variazioni sinsedimentarie della morfologia di bacino.

3) Il campione di affioramento ha subito tempi di avvicinamento e di permanenza alle condizioni chimico-fisiche di superficie enormemente maggiori rispetto al campione in carota; quindi potrebbe essere interessato da effetti retrogradi per alcuni parametri di valutazione.

In riferimento alle considerazioni dei punti

1 e 2 si può affermare che una campionatura di superficie, effettuata su una successione monoclinale con modeste variazioni dell'immersione, e che rimanga entro i limiti di una porzione di bacino senza variazioni laterali di spessore particolarmente rilevanti, dovrebbe ridurre al minimo la possibilità di stima errata del seppellimento pregresso.

In merito al punto 3 si deve tener conto che esiste pieno accordo fra gli Autori nel ritenere irreversibile la riflettanza della vitritite, al diminuire della temperatura; alcuni sostengono poi che anche il processo di illitizzazione della smectite possa essere esente da significativi effetti retrogradi (RETTKE, 1981).

Si rende quindi necessaria la scelta di procedere esclusivamente alla misura sistematica dei soli parametri che offrono la maggiore garanzia di non risentire della tecnica di prelievo dei campioni.

L'area esaminata in questo lavoro è risultata adatta per uno studio di questo genere, dal momento che le Formazioni di Ranzano e di Antognola (prevalentemente arenaceo-pelitiche) presentano un'ampia esposizione naturale ed un costante assetto monoclinale.

Per quanto riguarda l'inquadramento cronostratigrafico della successione esaminata, si rimanda al lavoro di RICCI LUCCHI & ORI (1985) ed alla annessa bibliografia.

Per i fini specifici di questa ricerca, si farà riferimento al rilevamento ed alla litostratigrafia introdotta da FORNACIARI (1982) (fig. 1).

Il tracciato della campionatura rimane nell'ambito di un assetto strutturale che ha provocato modeste deformazioni nei rapporti stratigrafici originari.

Nelle figure 2 e 4 si riportano la colonna stratigrafica campionata e lo spessore complessivo della successione esposta tra lo spartiacque e il letto del F. Secchia. Ponendo uguale a 0 lo spartiacque, coincidente con la quota massima campionata, è possibile assegnare ad ogni campione una profondità di seppellimento corrispondente a quella che si avrebbe con un sondaggio continuo, eseguito secondo la direzione perpendicolare agli strati.

In una successione di spessore così elevato, gli apporti saranno sicuramente variabili. In questo lavoro, però, verranno considerati uni-

formemente, in quanto le mineralogie globali dei campioni esaminati sono sostanzialmente simili. D'altra parte le valutazioni che seguiranno sono principalmente basate sulla composizione degli interstratificati, presenti in tutta la serie campionata.

I parametri presi in considerazione riguardano:

1) il grado di illitizzazione della smectite, attraverso lo studio degli interstratificati I/S;

2) il grado di carbonificazione della sostanza organica associata al sedimento, determinata sulla base della riflettanza della vitritite.

2. Tecniche analitiche

Sui campioni raccolti (peliti) sono state eseguite analisi mineralogiche per via diffrattometrica e determinazioni ottiche del grado di carbonificazione dei frustuli vegetali.

Nell'ambito delle prime i materiali, data la costante e abbondante presenza di CaCO_3 (circa 20-30 %, determinata per via gas-volumetrica), sono stati sottoposti ad una decarbonatazione preliminare. Il procedimento seguito, ampiamente controllato e standardizzato in letteratura (KUBLER, 1975; BONAZZI et al., 1984) consiste in un rapido attacco del campione (a temperatura ambiente) con HCl 1 N, mantenendo il più possibile un pH controllato non inferiore a 5 e successivi lavaggi con acqua deionizzata a pH 7. Il procedimento di decarbonatazione adottato non produce modificazioni di ordine cristallografico e strutturale sui minerali argillosi. Infatti verifiche chimiche e diffrattometriche fra campioni trattati ed i corrispondenti naturali, non hanno evidenziato dissoluzione di ioni legati ai reticoli dei silicati o variazioni significative dei tracciati diffrattometrici.

Successivamente è stata separata la frazione $< 2 \mu\text{m}$ per sedimentazione frazionata.

Per lo studio ai raggi X di questa frazione, si è adottato il preparato orientato per « pipetage » di una piccola quantità di sospensione, dal momento che si esalta così la possibilità di rilevazione diffrattometrica dei componenti a granulometria più fine (nel caso specifico smectite e interstratificati illite/smectite).

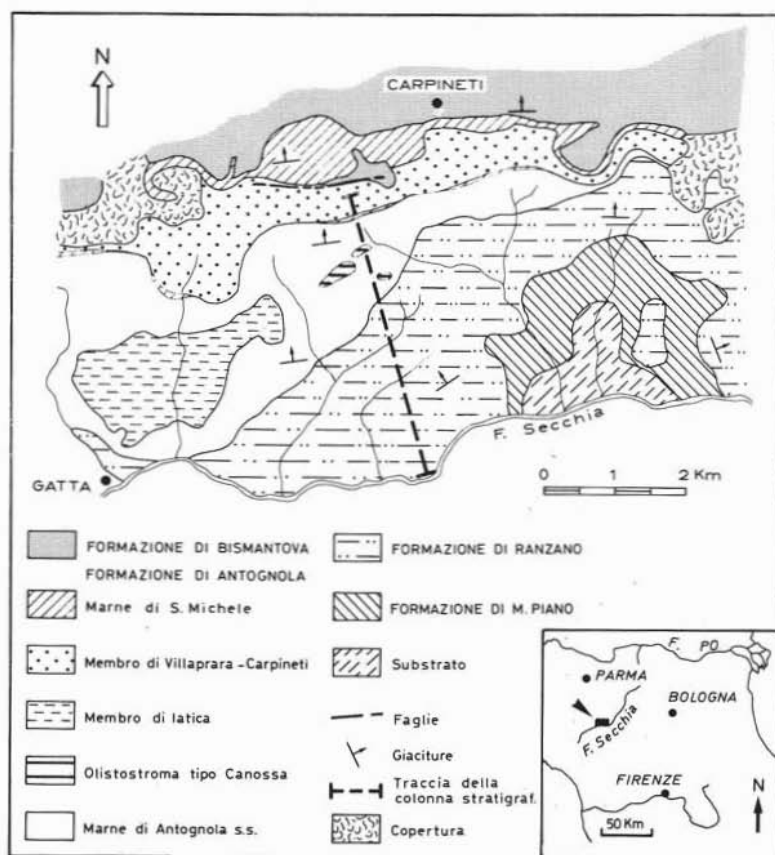


Fig. 1. — Carta geologica dell'area in esame. Da FORNACIARI M. (1982), modificata. — Geological sketch map of the studied area. From FORNACIARI M. (1982), modified.

Per quanto riguarda lo studio della materia organica, si sono seguite le procedure di preparazione dei campioni e di analisi in uso presso i laboratori AGIP-SGEL, S. Donato Milanese (CAVALIERE & LANZONI, 1977) e si è misurata la riflettanza della vitrine con obiettivo immerso in olio (Ro %).

3. Risultati ottenuti

3.1. Reazione di illitizzazione

La composizione fillosilicatica delle peliti esaminate (frazioni $< 2 \mu\text{m}$), descritta da BOLZAN et al., (1983), è caratterizzata da mica detritica (illite), clorite, serpentino ed interstratificato disordinato illite/smectite (I/S).

Nel presente lavoro sono state esaminate anche le frazioni più fini ($< 1 \mu\text{m}$,

$< 0,3 \mu\text{m}$), che risultano progressivamente impoverite nei primi tre componenti e mai completamente prive.

L'illite presente è caratterizzata da un elevato grado di appuntimento del riflesso 001 e quindi può essere considerata mica detritica.

L'interstratificato disordinato I/S, nei campioni esaminati, è caratterizzato da bande a $14 \text{ \AA}$ sul naturale, che passano a $17 \text{ \AA}$ per glicolazione, mentre le riflessioni di ordine superiore al primo sono riconducibili a bande molto slargate e scarsamente discriminabili.

Il riflesso a $17 \text{ \AA}$ mostra notevoli variazioni nella forma del picco: salendo nella successione si passa, con estrema gradualità, da una forma a « plateau » ad un riflesso sempre più netto sui $17 \text{ \AA}$, come è osservabile dagli esempi riportati in fig. 2, rispet-

tando l'ordine stratigrafico.

Questo tipo di interstratificato disordinato I/S risulta il più sensibile alle variazioni chimico-fisiche che si registrano nell'ambiente di diagenesi precoce, aumentando il suo contenuto % in illite con la profondità stratigrafica.

Per determinare questo parametro composizionale i metodi noti in bibliografia e più comunemente usati, sono basati sulla posizione dei riflessi 003 e 005 dell'interlaminato glicolato (REYNOLDS & HOWER, 1970; LEIKINE, 1983; SMART & CLAYTON, 1985).

Tali metodi, applicati ai campioni in esame, per diverse frazioni granulometriche, non hanno dato risultati significativi a causa della associazione mineralogica complessa, all'interno della quale gli interstratificati, presenti in quantità talora subordinate, non presentano riflessi di ordine superiore al primo facilmente identificabili ed inoltre non raggiungono mai un riordinamento interno che possa evidenziare una migrazione dei riflessi.

D'altra parte già REYNOLDS & HOWER (1970), sottolineano l'importanza della forma del riflesso a 17 Å, variamente asimmetrica verso gli angoli bassi, per la caratterizzazione composizionale degli interstratificati disordinati I/S.

Nel tentativo di «semi-quantificare» le variazioni di tale riflesso sui campioni esaminati, si è utilizzato il parametro v/p (profondità della valle a bassi angoli rispetto al picco a 17 Å / altezza del picco a 17 Å rispetto al fondo), introdotto da BISCAVE (1965) e generalmente usato per la valutazione della cristallinità della smectite.

A seguito delle misure di v/p eseguite sui profili diffrattometrici calcolati e ottenuti da spettri di polveri di REYNOLDS & HOWER (1970) è emersa la relazione fra tale parametro e la % di strati smectitici nell'interstratificato disordinato espressa dalla curva di fig. 3.

Sulla base delle misure dei v/p sui campioni della successione esaminata, si è evidenziata una diminuzione dell'espandibilità dell'interstratificato disordinato all'aumentare della profondità stratigrafica, secondo l'andamento di fig. 4.

Si possono individuare i seguenti intervalli, in rapporto alla profondità di seppellimento rispetto alla quota 0 di riferimento:

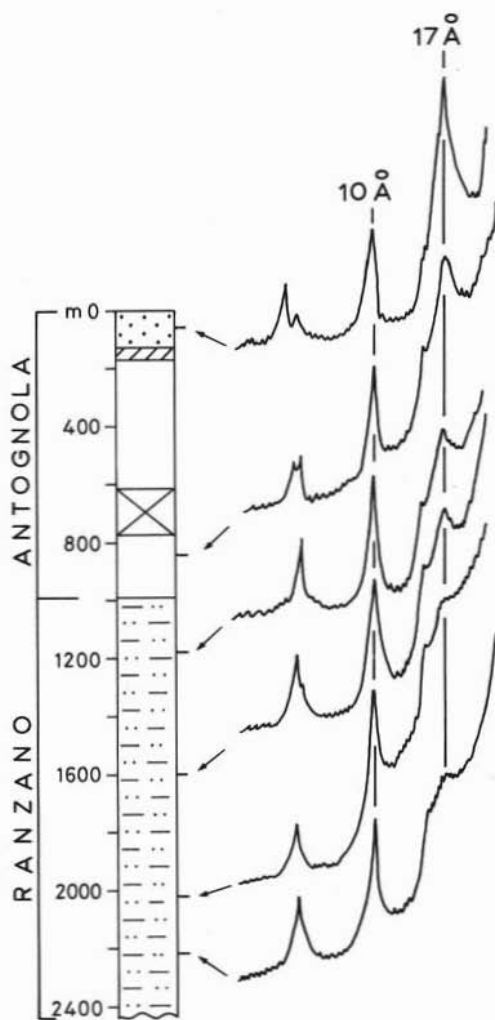


Fig. 2. — Esempi di tracciati diffrattometrici caratteristici per le diverse quote, all'interno della colonna stratigrafica campionata. Per i simboli grafici si fa riferimento alla legenda di fig. 1. Frazioni $< 2 \mu\text{m}$, glicolate. — XRD patterns of glicolated $< 2 \mu\text{m}$ fractions, in samples from different depth in the stratigraphic column.

da 0 a —600 m si hanno grosse oscillazioni del v/p (da 0,90 a 0,23), corrispondenti ad un contenuto % di strati espandibili variabile dall'88 al 48 %;

da —770 m a —1200 m le oscillazioni del v/p si riducono (da 0,48 a 0,18) e la % di strati espandibili varia dal 58 % al 46 %;

da —1400 a —1900 m il v/p varia da 0,22 a 0 e si hanno % di strati espandibili dal 48 al 40 %;

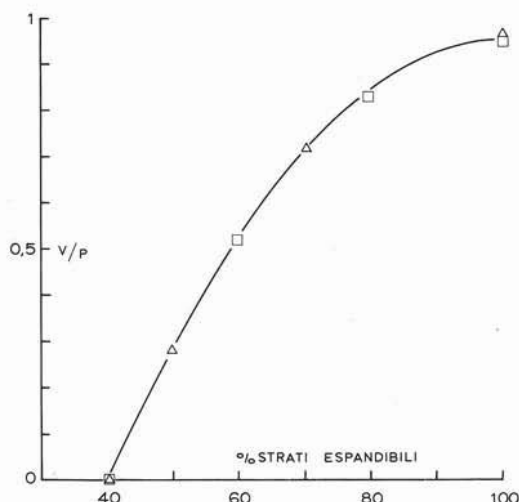


Fig. 3. — Curva di correlazione fra i valori del v/p e la % di strati espandibili negli interstratificati disordinati I/S, ottenuti da profili diffrattometrici calcolati (□) e da profili diffrattometrici di spettri di polveri (Δ) riportati da HOWER & REYNOLDS (1970). La curva è definita dall'equazione $y = -1,644 + 0,051x - 2,520 \cdot 10^{-4}x^2$. Nel tratto compreso fra 40 e 70 % di strati espandibili, la correlazione fra le 2 variabili può essere espressa in maniera lineare dall'equazione $y = 0,240x - 0,940$. — Correlation curve between v/p values and % of expandable layers of random mixed layer clays. Data are obtained from calculated diffraction profiles (□) and diffraction patterns (Δ) in HOWER & REYNOLDS (1970). Curve equation is $y = -1,644 + 0,051x - 2,520 \cdot 10^{-4}x^2$. Between 40 and 70 % of expandable layers, the correlation becomes linear and its equation is $y = 0,240x - 0,940$.

da —1950 m verso il basso il v/p rimane costantemente uguale a 0 e la % di strati espandibili si attesta sul 40 %.

I campioni asteriscati meritano un cenno particolare, in quanto l'altissima percentuale di espandibilità può essere messa in relazione con la natura vulcanoderivata dei loro interstratificati. Infatti la composizione dei livelli a cui appartengono risulta assolutamente anomala e identificabile come bentonitica.

3.2. Riflettanza della vitrinite

La sostanza organica dispersa nei sedimenti studiati (kerogene), è costituita da vitrinite e fusinite, appartenenti al gruppo delle sostanze ligno-umiche (VAN KREVELEN, 1963).

Sulla base della riflettanza della vitrinite

(con obiettivo immerso in olio) (fig. 4), nei primi 600 m di serie si ha un incremento progressivo di valori (da 0,3 a 0,47), corrispondenti ad uno stadio di immaturità del kerogene. Nei successivi 1800 m si sono riscontrati valori compresi tra 0,50-0,57, evidenziando così il raggiungimento della « early maturity », primo stadio di maturazione del kerogene, corrispondente all'inizio della « finestra ad olio », la cui soglia è posta mediamente intorno a $Ro \% = 0.5$.

Si deve comunque sottolineare che le Marne di Antognola s.s. presentano sempre tenori estremamente ridotti di sostanza organica; pertanto i dati analitici che le riguardano vanno interpretati con particolare cautela.

4. Considerazioni conclusive

Sulla base dei dati ottenuti, alcune tecniche per valutare l'evoluzione diagenetica di sequenze, campionate con carotaggi profondi, possono essere applicate a successioni di sedimenti in affioramento naturale, campionate lungo un tracciato che sia il più vicino possibile alla perpendicolare agli strati.

Infatti nella successione esaminata, campionata seguendo tale criterio, è stato possibile individuare degli andamenti nella reazione di illitizzazione degli interstratificati disordinati I/S e nei valori della riflettanza della vitrinite che possono essere correlati con l'aumentare della profondità stratimetrica e cioè con l'entità del seppellimento.

Per una valutazione speditiva del grado di illitizzazione, risulta molto utile il parametro v/p , in quanto può essere messo in relazione con la % di strati espandibili nell'interstratificato disordinato I/S.

Dall'andamento riscontrato nella successione stratimetrica qui esaminata, si può anche ritenere che la lunga permanenza alle condizioni chimico-fisiche di affioramento, non abbia prodotto effetti retrogradi sui valori v/p dei campioni di superficie.

Un dettagliato esame dei risultati mette in evidenza una grossa dispersione di valori v/p alle profondità più basse ed una progressiva riduzione della gamma di oscillazione e dei loro valori assoluti con l'aumentare della profondità. Tale comportamento è in accordo con una diagenesi da seppelli-

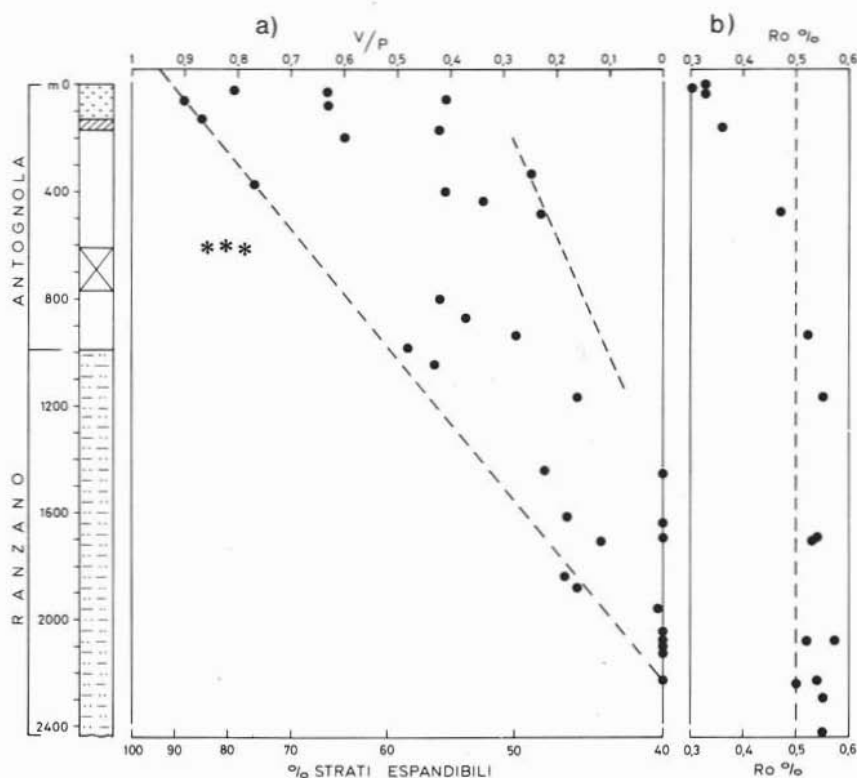


Fig. 4. — Diagrammi di variazione del v/p (e % strati espandibili) (a) e dell' R_o % (b), in funzione della quota stratigrafica. * = campioni provenienti da livelli bentonitici. — Variation diagrams of v/p (and % expandable layers) (a) and R_o % (b), against stratigraphic depth. * = samples from bentonitic levels.

mento che agisca su insiemi di I/S a composizione inizialmente diversa, a causa di una eterogeneità di apporti. Situazioni analoghe sono state riscontrate in altri bacini, campionati con carotaggi (PEARSON et al., 1981; RETTKE, 1981).

La variazione dell'oscillazione del v/p può essere assunta come indice dell'entità della diagenesi. Nel caso specifico della campionatura qui studiata, si riscontrano oscillazioni comprese fra le due linee tratteggiate proposte in fig. 4.

Dal momento che gli interstratificati più ricchi in smectite sono i più sensibili alla reazione di illitizzazione all'aumentare della profondità, risulta più significativo considerare l'andamento della reazione sulla base della linea inferiore, corrispondente al contenuto massimo di strati espandibili per ogni quota di seppellimento.

Si può così ipotizzare che la reazione di illitizzazione inizi intorno a quota 700 m, proseguendo nei successivi 1200 m di successione, fino al raggiungimento di una composizione dell'interstratificato I/S corrispondente al 40 % di strati espandibili. Tale composizione rimane costante nei successivi 400 m di serie e non si hanno evidenze di riordinamento dell'interstratificato.

Prendendo in esame i valori della riflettanza della vitrinite, sembra possibile individuare (con una certa approssimazione, data la scarsità dei dati) una corrispondenza fra la quota di inizio della reazione di illitizzazione negli I/S disordinati (circa a 700 m) ed il raggiungimento della soglia della « finestra ad olio » ($R_o = 0,5$ %), già riscontrata in molti altri lavori, eseguiti su carotaggi (POWELL et al., 1978; KUBLER, 1983; HELING & TEICHMULLER, 1974).

Ringraziamenti. — L'autore intende ringraziare i Proff. R. MEZZETTI e N. MORANDI per la costante collaborazione durante le varie fasi di elaborazione del lavoro, il Prof. B. KUBLER per gli utili consigli nella fase preliminare, il Prof. M.J. WILSON per la discussione critica dei dati ottenuti e l'AGIP S.p.A. per la gentile collaborazione nella fase di analisi della materia organica e nella interpretazione dei risultati ottenuti.

BIBLIOGRAFIA

- AMMOSOV I.I., BABASKIN G.B., SHARAKOVA L.S. (1975) - *Bituminite of Lower Cambrian deposits in the Irkutsk oil and gas region*, pp. 25-29 in: *Paleotemperaturny zon Neftobrazovniya* (I.V. Yeremin editor), Neuka press, Moscow.
- BISCAYE P.E. (1965) - *Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans*. Geol. Soc. Am. Bull., 76, 803-832.
- BOLES J.R., FRANKS G.S. (1979) - *Clay diagenesis in Wilcox sandstone of Southwest Texas: implication of smectite diagenesis on sandstone cementation*. J. Sedim. Petrol., 49, 55-70.
- BOLZAN R., CECCARELLI L., FAILLA A., MEZZETTI R., MORANDI N., ROMANO A. (1983) - *Caratteri composizionali delle peliti oligo-mioceniche della sinclinale di Vetto e Carpineti* (Prov. di Reggio Emilia e Parma). Miner. Petrogr. Acta, 27, 51-71.
- BONAZZI A., SALVIOLI MARIANI E., VERNIA L. (1984) - *Diagenesi e metamorfismo dedotti dalla cristallinità dell'illite in formazioni sedimentarie affioranti tra Pontremoli e Salsomaggiore (Appennino Tosco-Emiliano)*. Miner. Petrogr. Acta, 28, 123-138.
- BURST J.R. (1969) - *Diagenesis of Gulf Coast clayey sediments and its possible relation to petroleum migration*. Bull. Amer. Assoc. Petr. Geol., 53, 73-93.
- CAVALIERE R., LANZONI E. (1977) - *Quaderno di geochimica n. 1 - Rocce madri*. Rapporto interno, AGIP, S. Donato Milanese.
- FORNACIARI M. (1982) - *Osservazioni litostratigrafiche sul margine sud-orientale della sinclinale Vetto-Carpineti* (Reggio Emilia). Rend. Soc. Geol. It., 5, 117-118.
- FOSCOLOS A.E., POWELL T.G., GUNTER T.R. (1976) - *The use of clay minerals and inorganic and organic geochemical indicators for evaluating the degree of diagenesis and oil generating potential of shales*. Geochim. Cosmochim. Acta, 40, 953-966.
- HELING D., TEICHMULLER M. (1974) - *Die Grenze Montmorillonit / Mixed-Layer Minerale und ihre Beziehung zur Inkoblung in der Grauen Schichtenfolge des Oligozans im Oberrhein*. Fortsch. Geol. Rheinl. Westfalen, 24, 75-85.
- HELING D. (1978) - *Diagenesis of illite of argillaceous sediments of the Rhinegraben*. Clay Minerals, 13, 211-219.
- KISCH H.J. (1983) - *Mineralogy and petrology of burial diagenesis (burial metamorphism) and incipient metamorphism in clastics rocks*, pp. 289-511 in: Larsen & Chilingar Eds., *Diagenesis in sediments and sedimentary rocks*, 2, Development in Sedimentology, 25B, Elsevier, Amsterdam.
- KUBLER B. (1975) - *Diagenese, anchimetamorphisme et metamorphisme. Les argiles, minéraux index dans la diagenese et le metamorphisme; la cristallinité de l'illite; comparaison avec la diagenese et le metamorphisme de la matière organique; comparaison avec les facies à zeolites*. Bull. Centre Rech. Pau. Inst. Nat. de la Rech. Scient., Québec.
- KUBLER B. (1983) - *Les indicateurs des transformations physiques et chimiques dans la diagenese temperature et calorimetrie*. Cahiers de l'institut de geologie, Neuchâtel.
- LEIKINE M. (1983) - *Determination empirique des parametres de l'interstratification des minéraux illite/smectite et estimation du degré de metamorphisme dans les sediments pelitiques*. Bull. Miner., 106, 391-401.
- LOPATIN N.V. (1971) - *Temperature and geologic time as factors in coalification* (in Russian). Izv. Akad. Nank. SSSR, Seriya Geologicheskaya, 3, 95-106.
- NADEAU P.H., WILSON M.J., MCHARDY W., TAIT J.M. (1985) - *The conversion of smectite to illite during diagenesis: evidence from some illitic clays from bentonites and sandstones*. Miner. Mag., 49, 393-400.
- PEARSON M.J., WATKINS D., SMALL J.S. (1981) - *Clay diagenesis and organic maturation in northern North Sea sediments*. In: Van Olphen H. & Veniale F. Eds., *International Clay Conference 1981, Developments in Sedimentology*, 35, Elsevier, Amsterdam.
- PERRY E.A., HOWER J. (1970) - *Late stage dehydration in deeply buried pelitic sediments*. Bull. Amer. Assoc. Petr. Geol., 56, 2013-2021.
- POWELL T.G., FOSCOLOS A.E., GUNTER P.R., SNOWDON L.R. (1978) - *Diagenesis of organic matter and fine clay minerals: a comparative study*. Geochim. Cosmochim. Acta, 42, 1121-1197.
- PRICE L.C. (1983) - *Geologic time as a parameter in organic metamorphism and vitrinite reflectance as an absolute palaeogeothermometer*. J. Petrol. Geol., 6, 5-38.
- RETTKE R.C. (1981) - *Probable burial diagenetic and provenance effects on Dakota Group clay mineralogy*. Denver Basin. J. Sed. Petr., 51 (2), 541-551.
- REYNOLDS R.C., HOWER J. (1970) - *The nature of interlayering in mixed-layer illite-montmorillonites*. Clays Clay Miner., 18, 25-36.
- REUTTER K.J., TEICHMULLER M., TEICHMULLER R., RICCI LUCCHI F., ORI G.G. (1985) - *Field excursion D: Syn-orogenic deposits of a migrating basin system in the N.W. adriatic foreland*, pp. 137-176 in: Allen P., Homewood P., Williams G., Eds., *Excursion Guidebook*, Int. Symp. on Foreland Basin, Fribourg, 24 sept. 1985.
- SMART G., CLAYTON T. (1985) - *The progressive illitization of interstratified illite/smectite from carboniferous sediments of Northern England and its relationship to organic maturity indicators*. Clay Minerals, 20, 455-466.
- ZANZUCCHI G. (1982) - *Le ricerche sulla carbonificazione dei frustoli vegetali nelle rocce clastiche, come contributo ai problemi di paleogeotermia e tettonica nell'Appennino settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., 21, 111-126.