

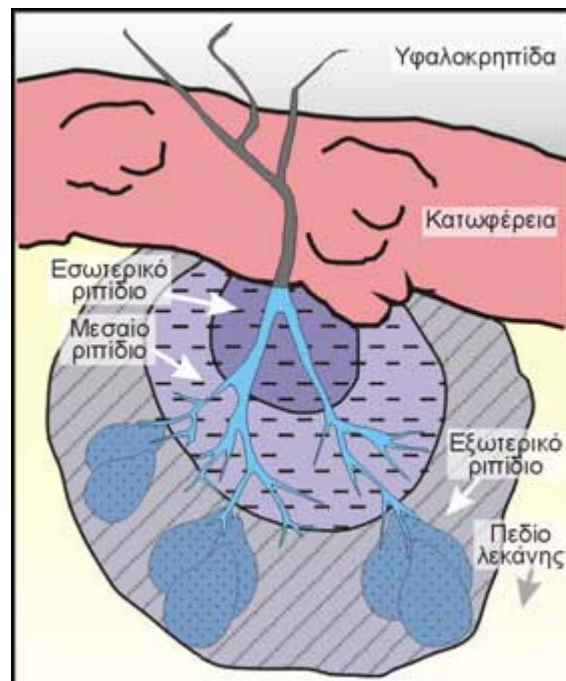


# ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

ΓΙΑ ΤΑ

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗΣ ΒΑΘΙΩΝ**

**ΘΑΛΑΣΣΩΝ**



**ΔΙΔΑΣΚΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΒΡΑΑΜ ΖΕΛΗΛΙΔΗΣ**

**ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΣΥΝΤΑΚΤΕΣ: Γ. ΑΝΑΝΙΑΔΗΣ**

**Ι. ΒΑΚΑΛΑΣ**

**Α. ΖΕΛΗΛΙΔΗΣ**

**Π. ΚΩΝΣΤΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ**

**Α. ΜΑΡΑΒΕΛΗΣ**

**Γ. ΠΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2005**

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

**1.1 Βαρυτικές ροές.**

**1.2 Τουρβιδιτικά ρεύματα.**

**1.3 Τουρβιδίτες.**

**1.4 Ατελείς ακολουθίες Bouma.**

**1.5 Ταξινόμηση τουρβιδιτικών φάσεων.**

**1.6 Τουρβιδιτικές ακολουθίες φάσεων.**

**1.7 Ταξινόμηση τουρβιδιτικών φάσεων κατά Pickering et al. (1986).**

**1.8 Τύποι τουρβιδιτικών αποθετικών συστημάτων.**

**1.9 Ιχνοαπολιθώματα (ichnofossils ή trace fossils)**

## 1.1.ΒΑΡΥΤΙΚΕΣ ΡΟΕΣ

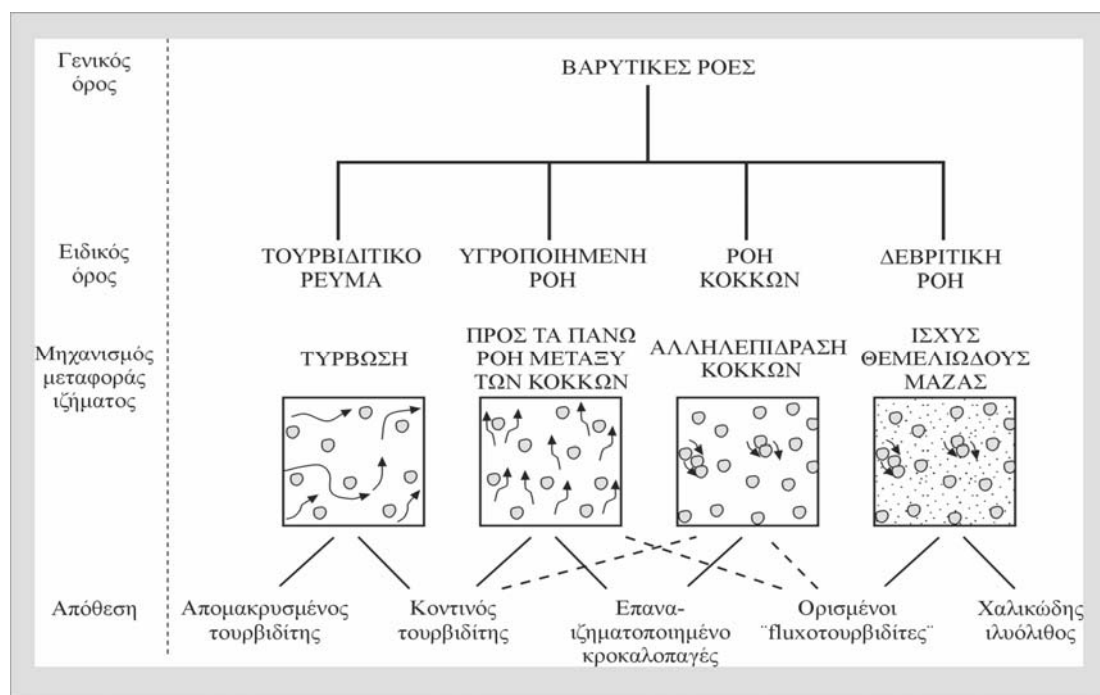
Οι αποθέσεις των τουρβιδιτικών ρευμάτων (τουρβιδίτες) αποτελούν χαρακτηριστικά πετρώματα αποθέσεων βαθιάς θάλασσας. Το έτος 1948 πρέπει να θεωρείται η αρχή της θεωρίας των τουρβιδιτών. Στο 18<sup>ο</sup> Διεθνές Συνέδριο γεωλογίας στο Λονδίνο, ο Migliorini απέδωσε την προέλευση της διαβαθμισμένης στρώσης, σε ρεύματα πυκνότητας (density currents). Στο ίδιο συνέδριο ο Shepard έδειξε υποθαλάσσιες φωτογραφίες απότομων πλαγιών σε υποθαλάσσιες χαραδρώσεις και ο Kuenen υπέθεσε τη διαβρωτική ικανότητα των ρευμάτων υψηλής πυκνότητας στη δημιουργία υποθαλάσσιων χαραδρώσεων. Πριν το 1948, η γεωλογική κοινότητα δεν είχε δώσει σημασία στα ρεύματα πυκνότητας και την ικανότητα τους να διαβρώνουν, να μεταφέρουν και να αποθέτουν ίζημα σε βαθιά νερά.

Μέχρι το 1950 όταν οι Kuenen και Migliorini δημοσίευσαν τη κλασική τους εργασία «Turbidity currents as a cause of graded bedding», η γεωλογική κοινότητα πίστευε ότι σε βαθιά θάλασσα περιβάλλοντα είχαμε ήρεμη ιζηματογένεση λεπτόκοκκου ιζήματος. Όμως συστηματικές έρευνες (γεωτρήσεις, δειγματοληψίες) σε ιζήματα ηπειρωτικών περιθωρίων και αβυσσικών πεδίων τη δεκαετία του '40 έδειξαν την ύπαρξη αδρόκοκκων, βαρυτικής απόθεσης ιζημάτων σε βαθιά νερά. Έτσι έγινε τελικά αποδεκτή η ύπαρξη χονδρόκοκκου κλαστικού ιζήματος σε μεγάλα βάθη.

Ο όρος βαρυτικές ροές ιζημάτων (sediment gravity flow) εισήχθη πρώτη φορά στην γεωλογική βιβλιογραφία από τους Middleton και Hampton το 1973, με σκοπό να περιγράψει τους κύριους τύπους ροών που συνδέονται σε διαδικασίες επανα-ιζηματογένεσης. Οι ροές αυτές έχουν οριστεί και ταξινομηθεί σύμφωνα με τον κυρίαρχο μηχανισμό συγκράτησης του ιζήματος και το εκάστοτε καθεστώς ροής (Middleton and Hampton, 1973, 1976; Lowe, 1982;).

Οι Middleton και Hampton (1973, 1976) αναγνώρισαν τέσσερις τύπους βαρυτικών ροών:

- Τουρβιδιτικό ρεύμα, στο οποίο το ίζημα μεταφέρεται λόγω της τυρβώδους ροής.
- Υγροποιημένη ροή, στην οποία το ίζημα μεταφέρεται από την προς τα πάνω ροή του υγρού που διαφεύγει μεταξύ των κόκκων όπως οι κόκκοι καθιζάνουν λόγω της βαρύτητας.
- Ροή κόκκων, στην οποία το ίζημα μεταφέρεται λόγω της αλληλεπίδρασης των κόκκων μεταξύ τους.
- Δεβριτική ροή, στην οποία το ίζημα μεταφέρεται από μια θεμελιώδη μάζα (matrix).



Εικόνα 1.1. Ανάλυση των βαρυτικών τύπων των ροών σύμφωνα με τους Middleton & Hampton, 1976.

## 1.2 Τουρβιδιτικά ρεύματα

### 1.2.1 Θεωρία και πειραματικά δεδομένα.

Τα τουρβιδιτικά ρεύματα αποτελούν αιωρήσεις ιζήματος τα οποία διατηρούνται σε αυτή την κατάσταση λόγω της τύρβωσης. Ο όρος τουρβιδιτικό ρεύμα εισήχθη για πρώτη φορά από τον Johnson το 1938. Εκτεταμένες εργαστηριακές μελέτες (Kuenen, 1950; Middleton, 1966; Allen, 1971) έδωσαν μια σαφή εικόνα για τον μηχανισμό που διέπει ένα τουρβιδιτικό ρεύμα. Το τουρβιδιτικό ρεύμα χαρακτηρίζεται από την ροή ενός μίγματος ιζήματος-υγρού μέσα σε ένα περιβάλλον σώμα υγρού, όπου η διαφορά πυκνότητας προκαλείται από την υψηλή συγκέντρωση ιζήματος μέσα στην υγρή μάζα. Η τύρβωση και η αιώρηση μπορεί αυξηθεί λόγω υδραυλικού άλματος (Van Andel and Komar, 1969). Το συγκεκριμένο άλμα μπορεί να συμβεί λόγω της μείωσης της κλίσης στην βάση της κατωφέρειας π.χ. στο στόμιο ενός υποθαλασσίου φαραγγιού.

Ένα τουρβιδιτικό ρεύμα μπορεί να διατηρηθεί κατά μήκος μεγάλων αποστάσεων χωρίς σημαντική διάβρωση ή απόθεση μέσω ενός μηχανισμού που ονομάζεται αυτό-αιώρηση. Η αυτό-αιώρηση είναι μια κατάσταση δυναμικής ισορροπίας στην οποία ισχύουν τα εξής: (1) η περίσσια πυκνότητας του υπό αιώρηση ιζήματος ωθεί την ροή, (2) η ροή παράγει τριβή και τύρβωση του υγρού και (3) η τύρβωση διατηρεί τα τεμάχια του ιζήματος σε αιώρηση δηλαδή πρόκειται για μία διαδικασία οπισθοτροφοδοσίας. Για να διατηρηθεί η ροή και η κυκλικότητα (loop) του ρεύματος αδιάσπαστη, θα πρέπει το έλλειμμα ενέργειας λόγω τριβής και καθίζησης να εξισορροπεί το

ενεργειακό κέρδος που προκύπτει από την βαρύτητα κατά την μετακίνηση του ρεύματος προς τα κάτω. Τα τουρβιδιτικά ρεύματα παράγουν αυτοαιώρηση όταν η πυκνότητα υπερβαίνει κάποια οριακή τιμή. Τιμές πυκνότητας μικρότερες της οριακής τιμής οδηγούν σε εξασθένηση του ρεύματος και σε καταβύθιση του φορτίου του, ενώ υπέρβαση της οριακής τιμής οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας του ρεύματος οπότε και επιτυγχάνεται η αυτό-αιώρηση.

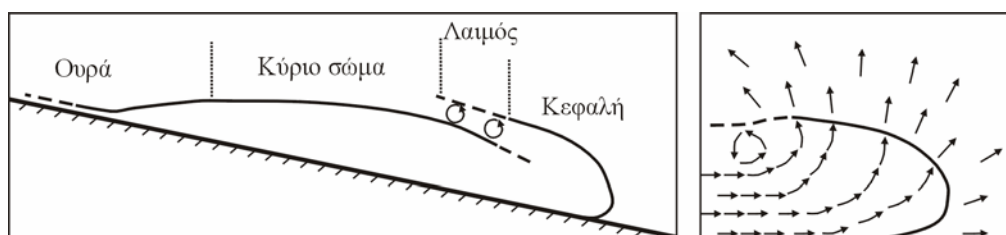
Σημαντικός παράγοντας για την συμπεριφορά της ροής αποτελεί και η κλίση, με τα ρεύματα να επιταχύνουν και να διαβρώνουν ή να επιβραδύνουν και να αποθέτουν ανάλογα με την αλλαγή στην κλίση. Τα τουρβιδιτικά ρεύματα είναι δυνατόν να λειτουργήσουν και σε πολύ μικρές κλίσεις και είναι ικανά να μεταφέρουν ένα μεγάλο εύρος κοκκομετρικών μεγεθών από κροκάλες έως λεπτόκοκκη άργιλο σε ένα μεγάλο εύρος συγκέντρωσης κόκκων. Το τελευταίο αυτό γεγονός οδήγησε στην αναγνώριση τουρβιδιτικών ρευμάτων υψηλής και χαμηλής πυκνότητας.

### **1.2.2 Υψηλής πυκνότητας τουρβιδιτικά ρεύματα.**

Τα υψηλής πυκνότητας τουρβιδιτικά ρεύματα έχουν ως αποτέλεσμα την απόθεση άμμου και χαλικιών σε βαθιές θαλάσσιες λεκάνες. Τα ρεύματα αυτά χαρακτηρίζονται από μια ποικιλία διαδικασιών (Normark & Piper, 1991). Τα περισσότερα από αυτά προέρχονται από την διάλυση και την μετατροπή επεισοδιακών ολισθήσεων και δεβριτικών ροών, οι οποίες συμβαίνουν στα υψηλότερα σημεία μιας κατωφέρειας ή από την μετατροπή της ροής των κόκκων στα ανώτερα τμήματα των φαραγγίων. Μερικές ακόμα ροές μπορεί να προέρχονται κατευθείαν από τα ποτάμια κατά την διάρκεια πλημμυρικών επεισοδίων, όπου το εκρέων ρευστό είναι τόσο τυρβώδες, ώστε η πυκνότητα του να υπερβαίνει αυτή των νερών της λεκάνης. Τέτοιες υπέρπυκνες ροές είναι περισσότερο κοινές σε γλυκά νερά λιμνών, αλλά μπορεί επίσης να εμφανιστούν και σε μερικά θαλάσσια περιβάλλοντα τα οποία τροφοδοτούνται από μικρού ή μεσαίου μεγέθους ποτάμια, είτε σε ετήσια βάση, είτε κάτω από ένα καθεστώς σπάνιων καταστροφικών γεγονότων (Mulder & Syvitski, 1995).

Πειράματα έδειξαν ότι τα τουρβιδιτικά ρεύματα αναπτύσσουν μια χαρακτηριστική κατά μήκος ανατομία η οποία περιλαμβάνει την κεφαλή (head), λαιμό (neck), κύριο σώμα (body) και ουρά (tail) (Middleton, 1966; Middleton & Hampton, 1976). Η κεφαλή έχει χαρακτηριστικό σχήμα και τύπο ροής. Σε κάτοψη, η κεφαλή παρουσιάζεται λοβοειδής με τοπικές αποκλίσεις της διεύθυνσης ροής. Στο εσωτερικό της κεφαλής επικρατούν κυκλικές κινήσεις. Οι χονδρότεροι κόκκοι συγκεντρώνονται στην κεφαλή. Το κύριο σώμα είναι το τμήμα της όπισθεν της κεφαλής όπου η ροή είναι σχεδόν ομοιόμορφη σε πάχος. Απόθεση μπορεί να συμβεί από το κύριο σώμα ενώ η κεφαλή δρα διαβρωτικά. Στην ουρά η ροή λεπταίνει γρήγορα και γίνεται πολλή αραιή.

Παράγοντες όπως: μίξη της ροής με νερό, απώλεια του ιζήματος λόγω απόθεσης και διαχωρισμού της ροής στον λαιμό, επιβραδύνουν και τελικά επιτυγχάνουν την ακινητοποίηση του τουρβιδιτικού ρεύματος. Επίσης ο Kuennen υπολόγισε ότι για ένα μέσο τουρβιδιτικό ρεύμα το χονδρόκοκκο ιζήμα θα αποθεθεί σε ένα χρονικό διάστημα ωρών, μολονότι η πλήρης καθίζηση του λεπτόκοκκου υλικού της ουράς μπορεί να κρατήσει μια εβδομάδα. Υπάρχουν αρκετοί συνδυασμοί αλλαγών της ταχύτητας σε σχέση με τον χώρο και τον χρόνο οι οποίες επηρεάζουν τον τύπο της απόθεσης από μια ροή. Έτσι αναγνωρίστηκαν τέσσερις κύριοι μηχανισμοί απόθεσης από ένα τουρβιδιτικό ρεύμα υψηλής πυκνότητας:



Εικόνα 1.2. Επιμήκης ανατομία του τουρβιδιτικού ρεύματος (τροποποιημένο από τους Middleton & Hampton, 1976.)

- ✦ **Κατακρήμνιση** από ένα τουρβιδιτικό ρεύμα το οποίο όπως χάνει την ορμή του, γίνεται λιγότερο σταθερό και επέρχεται γρήγορη απόθεση.
- ✦ **Εξέλιξη** ενός τουρβιδιτικού ρεύματος σε μια αμμούχα δεβριτική ροή ακολουθούμενη από "πάγωμα" του στρώματος κάτω από το κύριο σώμα της ροής, όπως προελαύνει προς τα κάτω.
- ✦ **Συνεχής απόθεση** κάτω από ένα διατηρημένο σταθερό ή σχεδόν σταθερό ρεύμα, με το ιζήμα να περνά διαμέσου ενός ενεργού βασικού στρώματος εμποδιζόμενης (hindered) καθίζησης.
- ✦ **Συνεχιζόμενο σύρσιμο** κάτω από ένα διατηρημένο σταθερό η σχεδόν σταθερό ρεύμα. Το σύρσιμο του φορτίου λαμβάνει χώρα όταν η συχνότητα του τροφοδοτούμενου ιζήματος στην βάση δεν είναι πολύ υψηλή.

Μετασχηματισμοί μεταξύ αυτών των μηχανισμών είναι πολύ πιθανοί με ένα αποθετικό γεγονός να περιλαμβάνει εξίσου διαδικασίες τουρβιδιτικών ρευμάτων και δεβριτικών ροών (Stow et al., 1999). Κλασσικό παράδειγμα υψηλής πυκνότητας τουρβιδιτικών ρευμάτων στην φύση αποτελεί η ροή που πυροδοτήθηκε κατά το σεισμό του Grand Banks το 1929. Αυτή η ροή, η οποία παρήχθη από μια μεγάλη διαστάσεων κατολίσθηση, ταξίδεψε προς τα βαθύτερα τμήματα της λεκάνης για εκατοντάδες χιλιόμετρα φθάνοντας τη μέγιστη ταχύτητα των 70Km/h (25m/sec) (Heezen and Ewing, 1952; Piper et al., 1988; Hughes et al., 1990).

### 1.2.3 Χαμηλής πυκνότητας τουρβιδιτικά ρεύματα.

Τα χαμηλής πυκνότητας τουρβιδιτικά ρεύματα μπορούν να προέλθουν από τις εξής διεργασίες: (1) καταγίδες στην υφαλοκρηπίδα, ανακινώντας το ίζημα ώστε να δημιουργηθεί ένα τουρβιδιτικό στρώμα, (2) έκχυση ενός ιλυούχου ρεύματος σε μια λίμνη ή στην θάλασσα και (3) την ανάπτυξη μια αραιωμένης "ουράς" σε ένα τουρβιδιτικό ρεύμα υψηλής πυκνότητας.

Η απόθεση από χαμηλής πυκνότητας τουρβιδιτικό ρεύμα ή από αραιωμένο, τελευταίου σταδίου τουρβιδιτικό ρεύμα υψηλής πυκνότητας μπορεί να συμβεί μέσω δύο πολύ διαφορετικών μηχανισμών:

- ✦ Αργή κατακρήμνιση από εξασθενημένη (αραιωμένη) αιώρηση η οποία μπορεί να συνοδεύεται από σύρσιμο, σχηματίζοντας πηλούχες ρυτιδώσεις και πηλούχες ελασματώσεις σε διαβαθμισμένους ιλυούχους τουρβιδίτες.
- ✦ Συγκέντρωση εξασθενημένης αιώρησης όπως η ροή επιβραδύνεται, μείωση της τύρβωσης, στρωμάτωσης της και τελικά δημιουργείται μια αργά κινούμενη υπέρπυκνη ροή ( $50-100 \text{ kg/m}^3$ ) ή ιλυούχα δεβριτική ροή η οποία μπορεί να "παγώσει" ως ένα μη διαβαθμισμένο στρώμα ιλύος.

Σύμφωνα με την θεωρία, για τα περισσότερα τουρβιδιτικά ρεύματα, το χοντρότερο υλικό αποτίθεται σε χρονικό διάστημα ωρών, ωστόσο ολοκληρωτική καθίζηση του λεπτότερου υλικού μπορεί να λάβει χώρα μέσα σε διάστημα εβδομάδας (Stow & Bowen, 1980; Allen, J.R.L., 1991). Τελικά όπως τα τεμάχια αποτίθενται, το ρεύμα καθίσταται ποιο "ελαφρύ", επιτυγχάνεται η συνέχεια της κίνησης με αποτέλεσμα την ανύψωση του ρεύματος σε μια διαδικασία που είναι γνωστή ως "lift off" η "flow lofting". Το λεπτότερο υλικό από μια τέτοια ροή μπορεί να καθίσταται περισσότερο διασπαρμένο από το κύριο ρεύμα. Στο Bengal fan, μια τέτοια διαδικασία είναι συνηθισμένη σε απομακρυσμένους τουρβιδίτες (Stow & Wetzel, 1990). Το τουρβιδιτικό ρεύμα αποθέτει το αιώρημα του σε υδάτινη στήλη πάχους πάνω από 1000 μέτρα πάνω από τον ωκεάνιο πυθμένα, ενώ περαιτέρω υλικό προστίθεται στο νεφελώδες αιώρημα καθώς η ουρά του ρεύματος φτάνει στο σημείο απόθεσης σε χρονικό διάστημα αρκετών ημερών. Το νέφος αυτό καθιζάνει αργά στον ωκεάνιο πυθμένα και εγκαθίσταται πάνω και μακριά από το απομακρυσμένο χείλος του ιλυώδους τουρβιδίτη. Η επίδραση της βιοαναμόχλευσης μέσα στο στρώμα διαρκεί από μερικές εβδομάδες έως και πολλούς μήνες. Τελικά αποτίθεται ένα παχύ στρώμα ιλύος γνωστό ως "ημιτουρβιδίτης" (Stow & Wetzel, 1990).

Η δυνατότητα ενός τουρβιδιτικού ρεύματος να αποθέσει μεγάλα στρώματα ιλύος ή αργίλου έχει αμφισβητηθεί. Σε αντίθεση, λιμνάζον περιβάλλον και η ανάπτυξη χαμηλής πυκνότητας τουρβιδιτικά ρεύματα επιστροφής αποδείχθηκε ότι μπορούν να αποθέσουν μεγάλου πάχους στρώματα ιλύος ή αργίλου (Van Andel & Komar, 1969; Scholle, 1971).

### 1.2.4 Νέες αντιλήψεις

Όπως αναφέρθηκε από τις αρχές της δεκαετίας του '70 δημιουργήθηκαν τα πρώτα μοντέλα για τα περιβάλλοντα απόθεσης των τουρβιδιτών με βάση κυρίως υπαίθριες παρατηρήσεις σε φυσικές τομές (Mutti & Ricci Lucchi, 1972, 1975, Walker & Mutti, 1973) στα οποία κυριαρχεί η οπτική της απόθεσης σε περιβάλλον υποθαλάσσιου ριπιδίου με αποθέσεις καναλιών, λοβών κτλ. Αυτή η οπτική κυριάρχησε από το σημείο αυτό και εμπλουτίστηκε με νέες παρατηρήσεις, μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '80.

Από εκεί και έπειτα, παρατηρήσεις κυρίως μοντέρνων υποθαλάσσιων ριπιδίων με όργανα νέας τεχνολογίας, οδήγησαν σε μια κριτική των μοντέλων τουρβιδιτών που ήταν γενικά αποδεκτά από την επιστημονική κοινότητα. Κυρίως ο Shanmugam, με διάφορες δημοσιεύσεις του, καθώς και άλλοι ερευνητές, υποστηρίζουν ότι τα γνωστά μοντέλα περιβαλλόντων απόθεσης δεν μπορούν πλέον να δώσουν ακριβείς απαντήσεις. Επίσης αμφισβητήθηκε έντονα η ακολουθία δομών του Bouma και άρχισε να υποστηρίζεται η άποψη ότι οι αποθέσεις υποθαλάσσιων ριπιδίων δεν είναι αποτέλεσμα τουρβιδιτικών ρευμάτων, αλλά κυρίως αμμωδών δεβριτικών ροών (sandy debris flows) και επεξεργασίας των ρευμάτων πυθμένα. Οι πραγματικοί τουρβιδίτες περιορίζονται μόνο σε ένα μικρό ποσοστό παρατήρησης. Επίσης πολλοί ερευνητές όπως ο Walker εγκατέλειψαν τα παλιά μοντέλα απόθεσης που είχαν δημιουργήσει και στράφηκαν σε νέα, όπου έχουμε πλέον ένα υποθαλάσσιο ριπίδιο γενικά πιο επιμήκες με πιο πολύπλοκες αποθέσεις.

Το συμπέρασμα είναι ότι πλέον στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα, υπάρχει στην επιστημονική κοινότητα των ιζηματολόγων έντονος προβληματισμός και συζήτηση για τους τουρβιδίτες. Οι γνωστές αντιλήψεις των δεκαετιών '50, '60, '70 αρχίζουν πλέον να αναθεωρούνται ή και να εγκαταλείπονται λόγω νέων επιχειρημάτων και παρατηρήσεων που οδηγούν σε νέους δρόμους την έρευνα για τις κλαστικές αποθέσεις βαθιάς θάλασσας.

### 1.3 Τουρβιδίτες

Οι αποθέσεις των τουρβιδιτικών ρευμάτων, ονομάζονται τουρβιδίτες και είναι ευρέως διεσπαρμένοι σε πολλά βαθιάς θάλασσας περιβάλλοντα και δομούν ακολουθίες με πάχη που φθάνουν την τάξη των χιλιομέτρων.

Οι χαρακτηριστικές ακολουθίες δομών και υφής ενός τουρβιδιτικού ρεύματος αποτελούνται από:

- ✚ "Ίχνη σόλας" (sole marks)
- ✚ Κατακόρυφη διαβάθμιση
- ✚ Συγκεκριμένες ακολουθίες εσωτερικών δομών (π.χ Bouma)
- ✚ Σχετικά υψηλό ποσοστό συνδετικού υλικού (matrix)



Οι σχηματιζόμενες από το ρεύμα πρωταρχικές ιζηματογενείς δομές στην βάση των τουρβιδιτικών στρωμάτων αποτελούνται κυρίως από δομές "διάβρωσης" (scour marks) π.χ. ίχνη πέλματος (flute marks) και ίχνη εργαλείων (π.χ. ίχνη αύλακος groove marks). Τα ίχνη πέλματος και αύλακος έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμοι δείκτες παλαιορευματικών διευθύνσεων. Οι μορφές των δομών αυτών σχηματίζονται λόγω της διάβρωσης από τουρβιδιτικά ρεύματα σε μια επιφάνεια ιλύος αποτιθεμένη από το προηγούμενο τουρβιδιτικό ρεύμα. Αμέσως μετά την διάβρωση, οι κοιλότητες αυτές συνήθως γεμίζουν με άμμο από το ίδιο τουρβιδιτικό ρεύμα το οποίο προηγουμένως έχε διαβρώσει την κοιλότητα.

Ένα από τα πιο σημαντικά αποτελέσματα των ερευνών για τις δομές σε τουρβιδίτες είναι η ακολουθία Bouma, η οποία αναγνωρίζει ότι οι ποίκιλες εσωτερικές ιζηματογενείς δομές των τουρβιδιτών λαμβάνουν χώρα σε μία προβλέψιμη κατακόρυφη ακολουθία (Bouma, 1962) . Μία πλήρης ακολουθία αποτελείται από πέντε δομικές υποδιαίρεσεις:

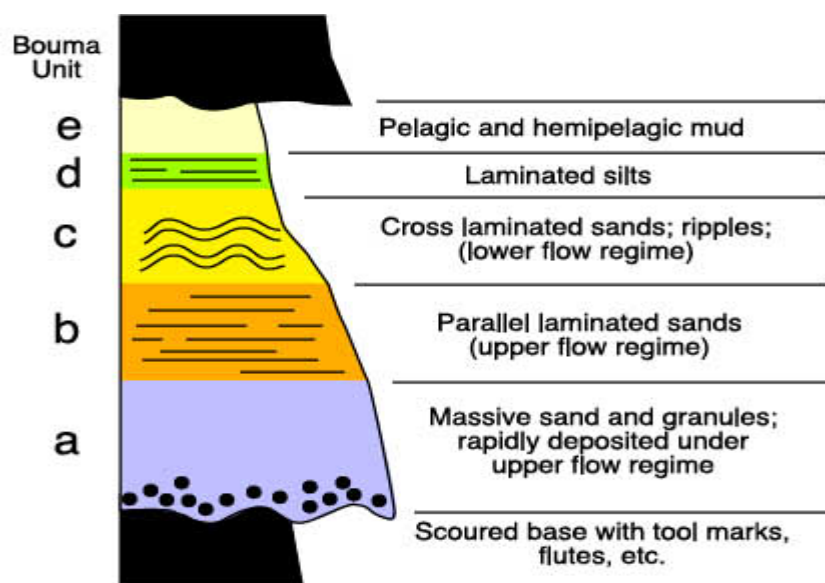
- **Ta**: αποτελεί το κατώτερο τμήμα, στερείται ελασμάτωσης, ενώ μπορεί να εμφανίζει διαβάθμιση. Η υδροδυναμική ερμηνεία για τους ορίζοντες B-E , προτείνει ότι ίσως το τμήμα A προκύπτει από το ανώτερο τμήμα της ανώτερης ροής (Walton, 1967) . Το ίζημα κατέφθασε στο στρώμα τόσο γρήγορα ώστε να μην είναι δυνατή η επεξεργασία του. Αυτό έχει ως συνέπεια την απουσία στρωμάτωσης ή ελασμάτωσης. Η ραγδαία απόθεση οδηγεί επίσης σε ασταθή αρχική τοποθέτηση των κόκκων, με συνέπεια να ακολουθούν φαινόμενα ρευστοποίησης , όπως μαρτυρούν στυλοειδής και δισκοειδής δομές διαφυγής του νερού. Ένα δεύτερο ενδεχόμενο είναι η εμφάνιση μιας σταθερής ροής μέσω της οποίας η άμμος συνεχώς συσσωρευόταν, βοηθούμενη και από την παρουσία κάποιου εμποδίου στον πυθμένα.

- **Tb**: παρατηρείται παράλληλη ελασμάτωση, η οποία προκαλείται από την επίπεδη μεταφορά του ιζηματογενούς στρώματος κάτω από το καθεστώς της ανώτερης ροής (upper flow regime). Με βάση τις παραπάνω περιγραφές προκύπτει ότι οι ορίζοντες B-E αντανακλούν μία επιβράδυνση της ροής.

- **Tc**: το τμήμα αυτό παρουσιάζει ρυτίδωση και διασταυρούμενη ελασμάτωση και αντανακλά κατακρήμιση άμμου ή πηλού από αιώρηση, ενώ στο κατώτερο τμήμα ροή από δευτερεύοντα ρεύματα δημιουργεί κινούμενες ρυτιδώσεις. Στην περίπτωση όπου η κατακρήμιση είναι ραγδαία εμφανίζεται αναρριχόμενη ρυτίδωση (climbing ripple) και διασταυρούμενη ελασμάτωση (ripple-cross lamination). Σε αυτό το τμήμα (C) μπορεί επίσης να περιλαμβάνεται περιελιγμένη ελασμάτωση (convolute lamination), αντιπροσωπεύοντας πιθανώς υγροποίηση άμεσα αποθετημένης άμμου και πηλού της υποδιαίρεσης C μαζί με σύρσιμο της ροής.

● **Td**: το τμήμα αυτό δείχνει τη μετάβαση από τη διαδικασία απόθεσης των κόκκων μέσω συρσίματος στην απόθεση μέσω αιώρησης (Walker, 1965). Παρατηρούνται ελασματώσεις πηλιδίων και ψαμμιδίων, ενώ στη βάση του εμφανίζει κοκκομετρική διαβάθμιση .

● **Te**: είναι ορίζοντες που σχηματίζονται από την απόθεση κόκκων που βρίσκονται σε αιώρηση (suspension). Σχηματίζονται ελασματωμένοι πηλίτες. Η υδροδυναμική ερμηνεία για τους ορίζοντες Tb-Te ,προτείνει ότι ίσως το τμήμα Τα προκύπτει από το ανώτερο τμήμα του υδραυλικού καθεστώτος ανώτερης ροής . (Walton, 1967).



Εικόνα 1.3 . Ολοκληρωμένη ακολουθία Bouma .

Όπως το τουρβιδιτικό ρεύμα ρέει προς τα κάτω, οι τουρβιδιτική απόθεση γίνεται προοδευτικά λεπτότερη, αδύνατη και προοδευτικά αποτελείται από τις υψηλότερες υποδιαίρεσεις της ακολουθίας Bouma. Επίσης οι αποθέσεις τουρβιδιδίων χαμηλής πυκνότητας, οι οποίες μεταφέρουν κυρίως πηλούχα και αργιλικά υλικά, σχηματίζουν τις υποδιαίρεσεις τις ακολουθίας Bouma D, E. Οι αποθέσεις αυτές δύσκολα διαχωρίζονται από αυτές των ημιπελαγιδίων. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των στρωμάτων προερχόμενων από τουρβιδίτες και από ημιπελαγίτες (Nelson and Nielsen, 1984) παρουσιάζονται στον πίνακα 1.1.

Πολλοί τουρβιδίτες έχουν σύσταση γραουβάκη, δηλαδή περιέχουν περίπου από 15% έως 40% συνδετικό υλικό. Το ερώτημα που προκύπτει δηλαδή αν το συνδετικό υλικό των αρχαίων αποθέσεων γραουβάκη είναι πρωτογενές ή δευτερογενές, ονομάστηκε "το πρόβλημα του γραουβάκη. Υπήρχε η διαφωνία αν το συνδετικό υλικό εισήχθη σε πορώδη στρώματα άμμου κατά την διάρκεια της διαγένεσης από την προς τα πάνω κίνηση του νερού των πόρων είτε αν αυτό είναι πρωτογενές και τμηματικά εισήχθη από τη διαγενετική μεταβολή ή την χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση των κόκκων ασταθών ορυκτών.

ΤΟΥΡΒΙΔΙΤΙΚΗ ΙΛΥΣ	ΗΜΙΠΕΛΑΓΙΚΗ ΙΛΥΣ
Υπο-παράλληλες ελασματώσεις	Χωρίς ελασματώσεις
Μπορεί να περιέχει ελάχιστα άμμο και πηλό	Περιέχει λίγο άμμο και πηλό
Λίγη βιοαναμόχλευση	Αρκετή βιοαναμόχλευση
Καλή εσωτερική δομή	Φτωχή εσωτερική δομή
Περιλαμβάνει κάποια ιλυούχα βαρέα ορυκτά	Περιλαμβάνει λίγα ιλυούχα βαρέα ορυκτά
Περιέχει μεταφερμένα βενθονικά τρηματοφόρα ρηχής θάλασσας	Περιέχει μόνο αυτόχθονα βενθονικά τρηματοφόρα βαθιάς θάλασσας
Περιέχει λίγα πλανκτονικά τρηματοφόρα	Περιέχει αρκετά πλανκτονικά τρηματοφόρα

Πίνακας 1.1. Χαρακτηριστικά γνωρίσματα τουρβιδιτικής ιλύος και ημιπελαγικής ιλύος σύμφωνα με τον Nelson & Nilsen, (1984).

Οι τουρβιδίτες μπορεί να είναι μαζί πυριτιτοκλαστικοί (siliclastic) και βιοκλαστικοί (bioclastic). Ανθρακικοί τουρβιδίτες είναι γνωστοί από σύγχρονες και αρχαίες υποθαλάσσιες λεκάνες (Meischner, 1964).

Χαρακτηριστικό πολλών τουρβιδιτικών ακολουθιών είναι και τα ιχνοαπολιθώματα. Ίχνη ερπυσμού ή ανάπαυσης μικροοργανισμών είναι πολύ κοινά στα ανώτερα τμήματα των στρωμάτων ή μέσα σε διαστρωματωμένους ημιπελαγίτες. Ίχνη “βόσκησης” και σίτισης οργανισμών στην επιφάνεια, καθώς και εσωτερικές δομές στοών (burrows) συναντώνται στη βάση των τουρβιδιτικών στρωμάτων, συμβάλλοντας έτσι στον σχηματισμό των «ιχνών σόλας» (sole marks). Η παρουσία των ιχνοαπολιθωμάτων σε μια τουρβιδιτική ακολουθία ρυθμίζεται από το βάθος, την αλατότητα, την κοκκομετρία και την σύνθεση των τουρβιδιτών και των ημιπελαγιτών, την συχνότητα εμφάνισης των τουρβιδιτικών ρευμάτων και την γεωλογική ηλικία.

#### 1.4 Ατελείς ακολουθίες Bouma

##### (A) Ακολουθίες στις οποίες απουσιάζει η βάση

Οι ακολουθίες στις οποίες απουσιάζει η βάση (Bouma, 1962,) σχηματίζονται όταν η απόθεση από το ρεύμα δεν ξεκινά παρά μόνο σε προχωρημένο στάδιο. Η απόθεση των αρχικών υποδιαίρεσεων από το ίδιο ρεύμα μπορεί να είχε πραγματοποιηθεί σε άλλη περιοχή. Οι ακολουθίες  $T_{bcde}$  υποδηλώνουν αρχική απόθεση σε ένα στάδιο επίπεδου στρώματος του καθεστώτος ανώτερης ροής, ή ολοκληρωμένη επεξεργασία της προηγούμενης αποτιθεμένης διαβαθμισμένης υποδιαίρεσης σε ελασματώσεις. Η απόθεση των ακολουθιών  $T_{bcde}$  υποδηλώνει αρχική απόθεση σε ένα στάδιο ακριβώς πάνω από αυτό των ρυτιδώσεων και επακόλουθη επεξεργασία του ιζήματος αυτού σε ρυτιδώσεις. Η αρχική απόθεση στο στάδιο ρυτιδώσεων, στο χαμηλό καθεστώς ροής, ελλείπει μίας σαφούς αλληλεπίδρασης στρώματος-ρεύματος, μπορεί να δημιουργήσει κάποια

μορφή παράλληλης ελασμάτωσης. Η υποδιαίρεση E από μόνη της είναι πολύ δύσκολο να διακριθεί σαν τουρβιδιτική απόθεση εκτός αν περιέχει μεταφερμένη πανίδα ρηχού ύδατος.

### **(B) Ακολουθίες στις οποίες απουσιάζει η κορυφή**

Η προφανέστερη αιτία των ακολουθιών στις οποίες απουσιάζει η κορυφή- $T_{abcd}$ ,  $T_{abc}$ ,  $T_{ab}$  και  $T_a$ - είναι η διάβρωση από ένα επακόλουθο ρεύμα. Μία άλλη αιτία, ωστόσο, είναι η μη απόθεση των ανώτερων υποδιαιρέσεων. Αν η διαβαθμισμένη υποδιαίρεση αποτίθεται κοντά στην πηγή τροφοδοσίας, πιθανώς λόγω “ψύξης” του στρώματος σύρσης, η διάτμηση η οποία εφαρμόστηκε στην κορυφή του στρώματος (και εξισορροπήθηκε από τις αλληλοεπιδράσεις κόκκου με κόκκο μέσα στο στρώμα) εφαρμόζεται μόνο σε λίγα ανώτερα στρώματα κόκκων. Αυτά εύκολα θα μεταφερθούν μακριά, αφήνοντας το ρεύμα με περίσσια διάτμηση. Αν η κορυφή του “παγωμένου” στρώματος είναι τόσο συνεκτική ώστε να ξαναδουλεύθει σε ελασματώσεις ή ρυτιδώσεις, η διάτμηση θα χαθεί (dissipated) μέσα στο ρεύμα. Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα αύξηση της τύρβωσης και πιθανότατα και της ταχύτητας.



*Εικόνα 1.4: Ακολουθία Bouma στην οποία απουσιάζουν τα μέλη  $T_d$ ,  $T_e$ .*

Η απόθεση μπορεί ξαφνικά να σταματήσει και να ξαναγεννηθεί, ταχύτερο και με περισσότερη τύρβωση ρεύμα μπορεί να μεταφέρει όλο το εναπομείναν ίζημα μακριά. Κατά την διάρκεια της μεταφοράς αυτής, η εγκαταλελειμμένη διαβαθμισμένη υποδιαίρεση μπορεί (αν δεν είναι συνεκτική) να ξαναδουλευθεί σε ελασματώσεις, ρυτιδώσεις, ή και τα δύο, χωρίς επακόλουθη απόθεση από το ρεύμα. Συνεπώς η ακολουθία που δημιουργείται θα είναι  $T_a$ ,  $T_{ab}$ ,  $T_{abc}$  ή  $T_{ac}$ , το τελευταίο δημιουργείτε από την πλήρη επαναεπεξεργασία των ελασματώσεων σε ρυτιδώσεις.

### **(Γ) Ακολουθίες στις οποίες απουσιάζουν τα μεσαία μέλη**

Η ακολουθία  $T_{ae}$  υποδηλώνει αρχική απόθεση της διαβαθμισμένης υποδιαίρεσης, πιθανά από απότομο “πάγωμα” του στρώματος σύρσεως. Όλα τα εναπομείναν ιζημα μεταφέρεται μακρύτερα μέσα στην λεκάνη και η ιλύση οποία καθιζάνει αργά μετά την εξασθένηση του ρεύματος, συμπληρώνει την ακολουθία AE. Το ίδιο επιχείρημα ισχύει και για την ακολουθία  $T_{abe}$ , εκτός του γεγονότος ότι μετά την απόθεση η διαβαθμισμένη υποδιαίρεση ξαναδουλεύτηκε σε ελασματώσεις. Στην ακολουθία  $T_{abe}$ , οι ελασματώσεις δεν συνοδεύονται από ρυτιδώσεις, πιθανά λόγω της υψηλής συνεκτικότητας του στρώματος. Η ακολουθία  $T_{ace}$  υποδηλώνει ότι μετά το “πάγωμα” της διαβαθμισμένης υποδιαίρεσης και επαναεπεξεργασίας της κορυφής σε ελασματώσεις, οι ελασματώσεις έχουν ολοκληρωτικά επαναδουλευτεί σε ρυτιδώσεις. Δεν υπάρχει λόγος γιατί να δημιουργηθούν ρυτιδώσεις, αλλά όχι και ελασματώσεις, κατά την διάρκεια της εξασθένησης του ρεύματος. Στις ακολουθίες  $T_{ae}$ ,  $T_{abe}$  και  $T_{ace}$  που παρατηρήθηκαν στο Shale Grit και Grindslow Shales, η “διαβαθμισμένη” υποδιαίρεση είναι σπανίως διαβαθμισμένη και το κοκκομετρικό μέγεθος της άμμου στις ρυτιδώσεις και ελασματώσεις είναι ίδια με αυτή στην “διαβαθμισμένη” υποδιαίρεση. Αυτό ενισχύει την υπόθεση ότι οι ελασματώσεις και οι ρυτιδώσεις είναι επαναδουλεμένα στοιχεία στην κορυφή της “διαβαθμισμένης” υποδιαίρεσης.

Υπάρχει άλλη μια σημαντική ακολουθία που απουσιάζουν τα μεσαία μέλη η οποία συνήθως παρατηρείται στους τουρβιδιτικούς σχηματισμούς, δηλαδή  $A \rightarrow E$ . Αυτό αντιπροσωπεύει ένα στρώμα με τέλεια διαβάθμιση από την βάση μέχρι την πελτική διαβάθμιση, χωρίς ελασματώσεις ή ρυτιδώσεις. Η απουσία αυτών των χαρακτηριστικών υποδηλώνει ότι κατά την διάρκεια της απόθεσης δεν έχει συμβεί σύρσιμο των κόκκων. Ένα τέτοιο στρώμα μπορεί να δημιουργηθεί μετά την καταστροφή της αυτοαιώρηση, από την καθίζηση των κόκκων από αιώρηση. Εναλλακτικά, το ρεύμα μπορεί να έχει μείνει αιωρούμενο πάνω από τον πυθμένα της θάλασσας, όλη η ιζηματογένεση λαμβάνει χώρα κάθετα με την δημιουργία διαβάθμισης αλλά όχι και δομών που δημιουργούνται από το ρεύμα. Η διαστρωμάτωση της πυκνότητας του νερού (Walker, 1965) μπορεί να δημιουργήσει ένα αραιωμένο, χαμηλής πυκνότητας τουρβιδιτικό ρεύμα να χωριστεί σε δύο, το κάτω τμήμα να ταξιδεύει στο πυθμένα της θάλασσας και το μικρότερης πυκνότητας άνω τμήμα αποχωρίζεται και διασκορπίζεται σε ένα ενδιάμεσο επίπεδο. Ένα τουρβιδιτικό ρεύμα έτσι μπορεί να παράγει δύο τουρβιδίτες, ή ένα τουρβιδίτη με μία μορφή διπλής διαβάθμισης.

### **3.5. Ταξινόμηση Τουρβιδιτικών Φάσεων**

Οι Mutti & Ricci Lucchi, (1972) εργαζόμενοι σε καλά εμφανιζόμενες τουρβιδιτικές ακολουθίες στην Βόρεια Ιταλία και Ισπανία, αναπτύξανε ένα σύστημα ταξινόμησης των υποθαλάσσιων

κλαστικών αποθέσεων σε φάσεις. Το ταξινομικό αυτό σύστημα υποδιαιρεί τις υποθαλάσσιες αποθέσεις σε επτά φάσεις, A-G, περιλαμβάνοντας εσωτερικά και χαρακτηριστικά της ακολουθίας Bouma. Οι Mutti & Ricci Lucchi το 1975 αναθεώρησαν και πρόσθεσαν σημαντικές λεπτομέρειες στην αρχική ταξινόμηση. Τα βασικά χαρακτηριστικά των τουρβιδιτικών φάσεων A-G κατά Mutti & Ricchi Lucci (1975), παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

<b><u>Φάση Α</u></b>	<p>➤ Πολύ χονδρά και πολύ χονδρόκοκκα στρώματα</p> <p><b>Υποφάσεις Α1:</b> οργανωμένα κροκαλοπαγή, χαλικώδης ψαμμίτης, ψαμμίτης</p> <p><b>Α2:</b> ανοργάνωτα κροκαλοπαγή, χαλικώδης ιλύολιθοι, ‘slurpied’ στρώματα</p>
<b><u>Φάση Β</u></b>	<p>➤ Χονδρά, μεσό- έως χονδρόκοκκα στρώματα, με παράλληλη ελασμάτωση στην βάση</p> <p><b>Υποφάσεις Β1:</b> Σχετικά συνεχή στρώματα, 30-200 εκ πάχος</p> <p><b>Β2:</b> Φακοειδή, σφηνοειδή, στην κορυφή με ρυτιδώσεις, 20-50 εκ πάχος</p>
<b><u>Φάση C</u></b>	<p>➤ Στρώματα που περιέχουν υποδιαίρεσεις της ακολουθίας Bouma, που περιέχουν στην βάση την υποδιαίρεση Ta</p> <p><b>Υποφάσεις C1:</b> Χονδρό- έως λεπτόκοκκη άμμο, με τις υποδιαίρεσεις Tace και Tac</p> <p><b>C2:</b> Μέσο- έως λεπτόκοκκη άμμο, με τις υποδιαίρεσεις Tabcde, Tabce και Tabde</p>
<b><u>Φάση D</u></b>	<p>➤ Στρώματα στα οποία απουσιάζει η υποδιαίρεση Ta της ακολουθίας Bouma</p> <p><b>Υποφάσεις D1:</b> Tb-e, Tc-e, Tde, αναλογία ψαμμίτη προς άργιλο &gt; 1, 3-40 εκ πάχος</p> <p><b>D2:</b> Tb-e, Tc-e, Tde, αναλογία ψαμμίτη προς άργιλο &lt; 1, 30-150 εκ πάχος</p> <p><b>D3:</b> Te ιλύολιθος, 3-200 εκ πάχος</p>
<b><u>Φάση E</u></b>	<p>➤ Λεπτοστρωματώδεις, μέσο- έως χονδρόκοκκοι ψαμμίτες με ασυνεχή τμήματα αργίλου, υψηλή αναλογία ψαμμίτη προς άργιλο, ακανόνιστης γεωμετρίας, αδιαβάθμιτα, με μεγάλης κλίσης διασταυρούμενη στρώση, με απότομη κορυφή, 3-20 εκ πάχος</p>
<b><u>Φάση D</u></b>	<p>➤ Χαοτικές αποθέσεις λόγω βαρυντικών ολισθήσεων εκτός αποθέσεων δεβριτικών ροών</p>
<b><u>Φάση G</u></b>	<p>➤ Πελίτες από ημιπελαγική απόθεση</p>

Πίνακας 1.2 .Ταξινόμηση των τουρβιδιτικών φάσεων κατά Mutti & Ricchi Lucci (1975).

## 1.6. ΤΟΥΡΒΙΔΙΤΙΚΕΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΕΣ ΦΑΣΕΩΝ

Υπάρχουν τρεις κύριες τουρβιδιτικές ακολουθίες φάσεων: κατωφέρεια, υποθαλάσσιο ριπίδιο και πεδίο λεκάνης. Αυτά μπορούν να υποδιαιρεθούν σύμφωνα με τους Mutti & Ricchi Lucchi , από τα εγγύς προς τα πιο απομακρυσμένα σε:

- (1) Ανώτερη κατωφέρεια
- (2) Κατώτερη κατωφέρεια
- (3) Υποθαλάσσιο φαράγγι
- (4) Κανάλι εσωτερικού ριπιδίου
- (5) Κανάλι μεσαίου ριπιδίου
- (6) Αναχώματα
- (7) Αποθέσεις μεταξύ των καναλιών
- (8) λοβοί εξωτερικού ριπιδίου
- (9) Αποθέσεις μεταξύ των ριπιδίων
- (10) Αποθέσεις πεδίου λεκάνης

### 1) Ακολουθίες φάσεων Ανώτερης κατωφέρειας (Upper-Slope Facies Association)

Τα ανώτερα τμήματα της κατωφέρειας είναι κυρίως περιοχές απόθεσης λεπτόκοκκης ιλύος και πηλού. Το μεγαλύτερο ποσοστό του ιζήματος που αποτίθεται στην περιοχή αυτή καθιζάνει κατακόρυφα από αιώρηση και συσσωρεύεται μετά το όριο υφαλοκρηπίδας-κατωφέρειας. Οι λεπτόκοκκες αποθέσεις συχνά ξαναμεταφέρονται προς τα κάτω με διάφορες διαδικασίες υποθαλάσσιων ολισθήσεων, σαν αποτέλεσμα, στην ανώτερη κατωφέρεια σε πολλές λεκάνες πιθανά κυριαρχούν ουλές ολισθήσεων (slump scars).

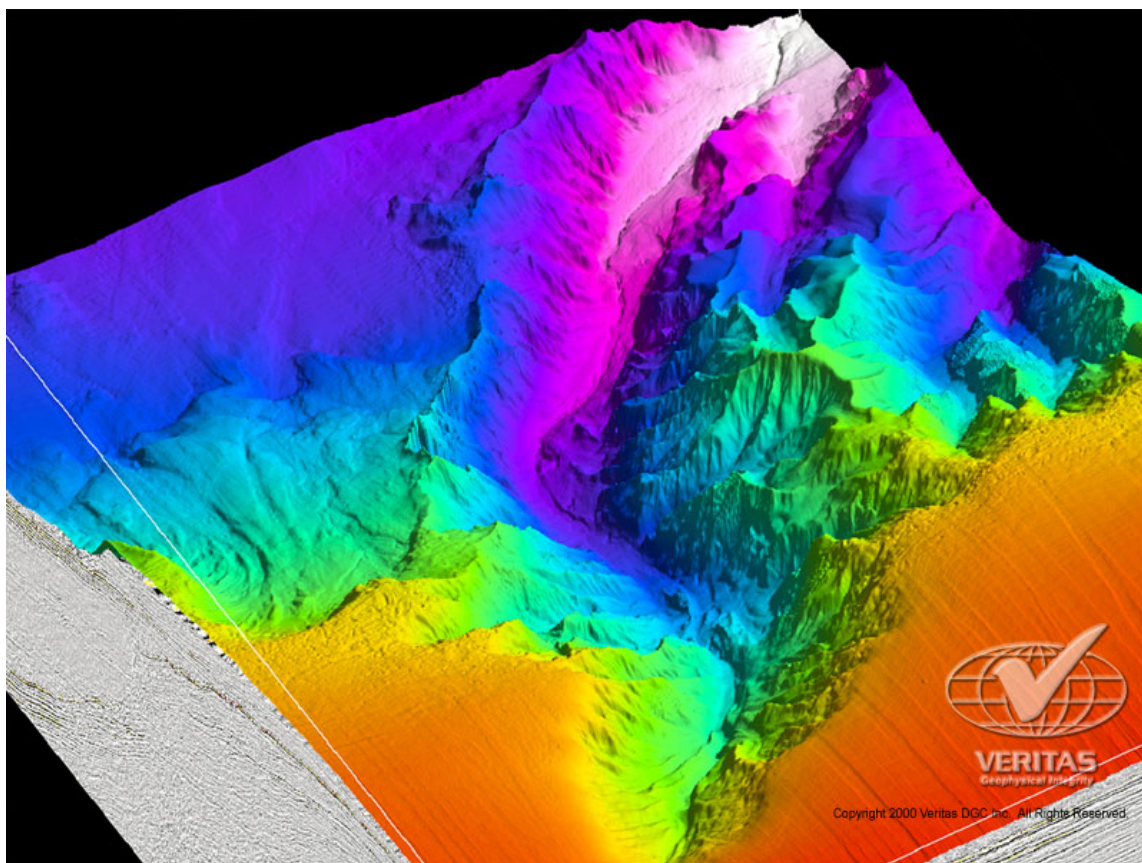
Στην στρωματογραφική καταγραφή, καλά ορισμένες αποθέσεις ανώτερης κατωφέρειας δεν περιγραφεί ολοκληρωμένα, πιθανά λόγω του διαδοχικού τεκτονισμού των λεπτόκοκκων αποθέσεων και εν μέρει λόγω της έλλειψης μεγάλου πάχους συσσωρεύσεων ιζημάτων στην ανώτερη κατωφέρεια.

### 2) Ακολουθίες φάσεων Κατώτερης κατωφέρειας (Lower-Slope Facies Association)

Η κατώτερη κατωφέρεια είναι η θέση συσσώρευσης των λεπτόκοκκων ιλύων της φάσης G, που αποτίθενται λόγω της καθίζησης λεπτού υλικού προκαλούμενης από θύελλα και πλημμύρα. Επίσης περιέχει άφθονες αποθέσεις της φάσεως F, προκαλούμενης από υποθαλάσσιες ολισθήσεις. Τα προϊόντα της ολίσθησης συσσωρεύονται στην κατώτερη κατωφέρεια και στην βάση αυτής ως επικαλυπτόμενα τεμάχια τα οποία είναι έντονα παραμορφωμένα και σπασμένα σαν αποτέλεσμα της κίνησης προς την βάση της κατωφέρειας.

### 3) Ακολουθίες φάσεων υποθαλάσσιων φαράγγιων (Submarine-Canyon Facies Association)

Τα υποθαλάσσια φαράγγια χρησιμεύουν ως κανάλια μεταφοράς των ρηχών θαλάσσιων ιζημάτων προς τα βαθύτερα μέρη απόθεσης. Ιζήματα που έφτασαν στην υφαλοκρηπίδα μέσω ρευμάτων κατά μήκος της ακτής, δελταϊκών καναλιών, δελταϊκών ριπιδίων, καταγιγίδων, πλημμύρων και άλλων διαδικασιών, στην συνέχεια επαναμεταφέρονται προς το κατόντι σαν ιζήματα βαρυτικών ροών, για να αποθεθούν στην βάση της κατωφέρειας, σε υποθαλάσσια ριπίδια ή στον πυθμένα της λεκάνης. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα τέτοιων αποθέσεων σε σύγχρονες κατωφέρειες, κατά μήκος όλων των τύπων περιθωρίων, αλλά λίγα καλά μελετημένα παραδείγματα σε αρχαίες αποθέσεις. Τα περισσότερα παραδείγματα αρχαίων υποθαλάσσιων φαράγγιων, έχουν αποδειχθεί ότι είναι αποθέσεις υποθαλάσσιου ριπιδίου. Όταν μία πλήρωση φαράγγιων κόβει ηφαιστιακά, μεταμορφωμένα ή παλαιότερα ιζηματογενή πετρώματα, τότε είναι σίγουρο ότι οι αποθέσεις αυτές αποτελούν αποθέσεις υποθαλάσσιου ριπιδίου. Οι αποθέσεις υποθαλάσσιου ριπιδίου μπορούν να αποτελούνται κυρίως από χονδρόκοκκες φάσεις Α και Β. Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να αποτελείται από λεπτόκοκκο ίζημα.



Εικόνα 1.5: Υποθαλάσσιο φαράγγι (Atmospheric and planetary sciences, Massachusetts Institute of technology).



Σε τομή τα υποθαλάσσια φαράγγια μπορεί να κόβουν σε σχήμα “U” ή “V” τις αποθέσεις περιθωρίων ή μπορεί να είναι πολύπλοκα, με πολλαπλά υπό-φαράγγια, αναχώματα (levees) και ταράτσες (terraces).

Ένα από τα καλύτερα παραδείγματα υποθαλάσσιων φαραγγιών σε αρχαίες αποθέσεις είναι από το Sacramento Valley στην βόρεια Καλιφόρνια.

#### **4) Ακολουθίες φάσεων καναλιών εσωτερικού ριπιδίου (Inner-fan Facies Association)**

Τα κανάλια του εσωτερικού ριπιδίου είναι μεγάλα και βαθιά και χρησιμεύουν ως αγωγοί μεταφοράς ιζήματος στο μεσαίο και εξωτερικό ριπίδιο. Το μεγαλύτερο ποσοστό χονδρού υλικού που μεταφέρεται από τις βαρυντικές ροές αποτίθεται στο εσωτερικό ριπίδιο ως κροκάλες και χονδρόκοκκοι άμμοι. Τα κανάλια του εσωτερικού ριπιδίου βαθμιαία μειώνονται σε πλάτος και βάθος προς τα απομακρυσμένα τμήματα του ριπιδίου. Το χοντρότερο υλικό αποτίθεται στα κανάλια ενώ το λεπτότερο υλικό στα αναχώματα (levees) και στις περιοχές μεταξύ των καναλιών (interchannel areas). Χαρακτηριστικά των αποθέσεων καναλιών του εσωτερικού ριπιδίου είναι οι φάσεις A και B.

#### **5) Ακολουθίες φάσεων καναλιών μεσαίου ριπιδίου (Middle-Fan-Channel Facies Association)**

Τα κανάλια του μεσαίου ριπιδίου κυρίως σχηματίζουν λεπτόκοκκους και λεπτότερους προς τα πάνω κύκλους. Χονδρόκοκκες και παχυστρωματώδεις φάσεις A ή B κροκαλοπαγών και ψαμμιτών αναπτύσσονται στην βάση των κύκλων, ενώ προς την κορυφή των κύκλων αναπτύσσονται λεπτόκοκκοι και λεπτοστρωματώδεις ψαμμίτες. Σχετιζόμενες ακολουθίες φάσεων αποτελούν τα αναχώματα και οι αποθέσεις μεταξύ των καναλιών. Τα κανάλια είναι χαρακτηριστικά διαβρωσιγενή και αποθετικά μαζί αν και έχουν καταγραφεί και κανάλια που είναι μόνο διαβρωσιγενή ή αποθετικά. Παράδειγμα αποθέσεων καναλιών μεσαίου ριπιδίου έχουν μελετηθεί από τους Mutti and Sonnino, (1981) στην λεκάνη Hecho στην βόρεια Ισπανία. Εκεί παρατηρήθηκαν καλά ορισμένες συγκεντρώσεις του χοντρότερων και παχύτερων στρωμάτων ψαμμίτη στον άξονα των καναλιών, με λεπτότερα και λεπτόκοκκα στρώματα κατά μήκος των περιθωρίων των καναλιών (channel margins) και των αναχωμάτων.

#### **6) Ακολουθίες φάσεων αναχωμάτων (Levée Facies Association)**

Τα αναχώματα αποτίθενται στις πλευρές των καναλιών με διαδικασίες υπερχειλίσης (overbank). Τα αναχώματα ανήκουν κυρίως στις φάσεις D και E. Μεμονωμένα στρώματα είναι συνήθως πολύ ρυτιδωμένα, ποικίλου κοκκομετρικού μεγέθους και πάχους, πλευρικά ασυνεχή και συνήθως έχουν πολύ απότομες (sharp) βάσεις και κορυφές με μικρού βαθμού διαβάθμιση. Οι αποθέσεις

αναχωμάτων γενικά έχουν υψηλό ποσοστό ψαμμίτη προς άργιλο το οποίο μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από τα περιθώρια του καναλιού προς τις περιοχές μεταξύ των καναλιών. Αποτελούνται κυρίως από κύκλους που παχαίνουν και χοντραίνουν προς τα πάνω σε περιοχές όπου τα αναχώματα προελαύνουν πάνω στις περιοχές μεταξύ των καναλιών και κύκλους από λεπτότερα και λεπτόκοκκα στρώματα προς τα πάνω όπου τα αναχώματα γίνονται ανενεργά. Οι αποθέσεις αναχωμάτων είναι συνήθως χοντρότερες και παχύτερες προς τα κατάντη του ριπιδίου γιατί μεγαλύτερες ποσότητες χοντρότερου υλικού μπορεί να μεταφερθεί πάνω από τα περιθώρια των καναλιών όπου τα κανάλια είναι πιο ρηχά. Οι αποθέσεις αναχωμάτων μπορούν να παραμορφωθούν από συνιζηματογενής ολισθήσεις. Με τον τρόπο αυτό μπλοκ από υλικό αποθέσεων μπορεί να ολισθήσει προς τα κανάλια ή προς τις περιοχές μεταξύ των καναλιών.

### **7) Ακολουθίες φάσεων μεταξύ των καναλιών (Interchannel Facies Association)**

Οι αποθέσεις αυτές γενικά αποτελούνται από λεπτόκοκκες ιλύς οι οποίες συσσωρεύονται σαν αποτέλεσμα ημιπελαγικής καθίζησης υλικού σε αιώρηση και καθίζηση λεπτόκοκκου υλικού το οποίο αποτίθεται σαν αποτέλεσμα διαδικασιών υπερχειλίσης. Μεγάλα τουρβιδιτικά ρεύματα μπορούν να προκαλέσουν υπερχειλίση χονδρόκοκκου υλικού πάνω από τα αναχώματα και να αποθέσουν άμμους στις περιοχές μεταξύ των καναλιών. Παχιά στρώματα χονδρού ίζηματος μπορούν επίσης να μεταφερθούν στις περιοχές μεταξύ των καναλιών μέσω διάρρηξης στα αναχώματα, σχηματίζοντας αποθέσεις μικρού ριπιδίου (crevasse-splay deposits). Η προέλαση των αναχωμάτων σε περιοχές μεταξύ των καναλιών συνήθως δημιουργεί αποθέσεις λεπτών πακέτων από ρυτιδιασμένων ψαμμιτών ή πηλίτη που παχαίνουν ή λεπταίνουν προς τα πάνω. Ο Nelson (1976) έδειξε ότι το πάχος των στρωμάτων στις αποθέσεις μεταξύ των καναλιών αυξάνεται προς το κατάντη του ριπιδίου στο ριπίδιο της Astoria, πιθανά γιατί το χοντρότερο ίζημα μπορεί να μεταφερθεί έξω από τα ρηχότερα κανάλια του μεσαίου ριπιδίου παρά από τα βαθύτερα κανάλια του εσωτερικού ριπιδίου.

### **8) Ακολουθίες φάσεων ψαμμιτών που προήλθαν από διάρρηξη των Αναχωμάτων (Crevasse-splay Facies Association)**

Στην περιοχή των ριπιδίων που είναι μεταβατικές από καναλοειδή σε μη καναλοειδή μορφολογία, μεγάλη ποσότητα άμμου μπορεί να υπερχειλίσει πλευρικά έξω από ρηχά κανάλια και σχηματίζει ακανόνιστες συγκεντρώσεις οι οποίες έχουν χαρακτηριστικά από καναλοειδής και μη καναλοειδής αποθέσεις. Οι συγκεντρώσεις αυτές οργανώνονται σε κύκλους που λεπταίνουν και μειώνονται προς τα πάνω και κύκλους που χοντραίνουν και παχαίνουν προς πάνω. Κάποια τμήματα των συγκεντρώσεων αυτών μπορεί να περιέχουν διακριτές αποθέσεις πλήρωσης καναλιών, με την

γεωμετρία των καναλιών διατηρημένη (φακοειδή γεωμετρία), ενώ άλλα τμήματα μπορεί να είναι μη καναλοειδή, με στρώματα καλής πλευρικής συνέχειας. Οι φάσεις B, C και λιγότερο E είναι τυπικές των αποθέσεων αυτών.

### **9) Ακολουθίες φάσεων στο στόμιο των καναλιών (Channel-mouth bar Facies Association)**

Ο Mutti & Ricci Lucchi (1975) και Mutti (1977) διέκριναν σε κάποια υποθαλάσσια ριπίδια αποθέσεις στο στόμιο των καναλιών. Οι αποθέσεις αυτές αποτελούνται κυρίως από διασταυρούμενα στρωματοποιημένες (cross-stratified) δομές σύρσεως, οι οποίες αποτέθηκαν όταν τα τουρβιδιτικά ρεύματα εξέρχονται από κανάλια, διαχέονται πλευρικά, πιθανά υφίστανται υδραυλικό άλμα και αποθέτουν το χοντρότερο υλικό του φορτίου τους. Οι αποθέσεις αυτές επαναεπεξεργάζονται από διερχόμενα τουρβιδιτικά ρεύματα σε μία σειρά από λεπτά, κάθετα στρωματοποιημένα "σεντόνια" ψαμμίτη. Επανεξέταση των αποθέσεων αυτών έδειξε ότι μπορεί να αντιπροσωπεύουν αποθέσεις αναχωμάτων-υπερχείλισης σε μακρινές αποστάσεις από τα κανάλια, στην περιοχή που τελειώνουν τα κανάλια και ξεκινούν οι λοβοί του εξωτερικού ριπιδίου (Mutti et al., 1978).

### **10) Ακολουθίες φάσεων λοβών εξωτερικού ριπιδίου (Outer-fan-lobe Facies Association)**

Οι λοβοί αυτοί γενικά σχηματίζουν μη καναλοειδής αποθέσεις που χαρακτηρίζονται από χοντρότερες και παχύτερες προς τα πάνω μεγαακολουθίες, αν και έχουν παρατηρηθεί κάποιες μεγαακολουθίες να λεπταίνουν και μειώνονται προς τα πάνω. Οι λοβοί του εξωτερικού ριπιδίου αποτέθηκαν από τουρβιδιτικά ρεύματα που εξέρχονται από κανάλια στα κατώτερα τμήματα των υποθαλάσσιων ριπιδίων. Η τοπογραφία είναι ομαλή μετά το τέλος των καναλιών και επικρατούν μικρές κλίσεις. Όπως οι προηγούμενες περιορισμένες ροές εξέρχονται από τα κανάλια, διαχέονται σε μια ευρεία περιοχή και αποθέτουν το φορτίο τους, κυρίως άμμο και ιλύς, ως πλευρικά συνεχή "σεντόνια". Το χοντρότερο ίζημα καθιζάνει πρώτο ενώ το λεπτότερο μεταφέρεται περαιτέρω προς τα κατάντη. Σαν αποτέλεσμα, τα περισσότερα στρώματα λεπταίνουν σε πάχος και κοκκομετρικό μέγεθος προς το κατάντη, μακριά από την περιοχή που τελειώνουν τα κανάλια και διαχέονται ακτινωτά. Στα απομακρυσμένα τμήματα των λοβών του εξωτερικού ριπιδίου, τα στρώματα μειώνονται σε πάχος και κοκκομετρικό μέγεθος και διαβαθμίζονται πλευρικά σε αποθέσεις μεταξύ των ριπιδίων (fan-fringe deposits). Παράδειγμα αποθέσεων λοβών εξωτερικών ριπιδίων αποτελούν οι αποθέσεις του Ανώτερου Μειόκαινου και Κατώτερου Πλειόκαινου του σχηματισμού Laga στην ανατολική-κεντρική Ιταλία (Mutti et al. 1978).

Οι λοβοί του εξωτερικού ριπιδίου κυρίως αποτελούνται από μικρές επαναλαμβανόμενες ακολουθίες ψαμμιτικών στρωμάτων αυξανόμενου πάχους προς τα πάνω μέσα σε μία γενική

μεγαακολουθία αυξανόμενου προς τα πάνω πάχους. Αυτές οι μικρές ακολουθίες πιστεύεται ότι προέρχονται από το προοδευτική ομαλοποίηση του αποθετικού ανάγλυφου που παρήχθη κατά την κατασκευή του κάθε ψαμμιτικού λοβού. Στρώματα τουρβιδιτικής άμμου που αποτέθηκαν σε σχετικά οριζόντιες επιφάνειες δημιουργούν μια ελαφριά καμπύλη επιφάνεια, επερχόμενα τουρβιδιτικά ρεύματα τείνουν να ομαλοποιήσουν την τοπογραφική αυτή επιφάνεια και να αποθέσουν στρώματα άμμου τα οποία είναι λεπτά ή και καθόλου στην κορυφή του προηγούμενου αποτιθέμενου στρώματος και προοδευτικά χοντρότερα μακριά από την κορυφή.

### **11) Ακολουθίες φάσεων μεταξύ των ριπιδίων (Fan-fringe Facies Association)**

Οι αποθέσεις αυτές σχηματίζονται κατά μήκος των κατώτερων περιθωρίων των υποθαλάσσιων ριπιδίων και αποτελούνται από λεπτόκοκκες αποθέσεις της φάσης D. Οι αποθέσεις διαβαθμίζονται προς τα πάνω σε ακολουθίες φάσεων των λοβών του εξωτερικού ριπιδίου ενώ προς τα κάτω σε τουρβιδίτες πεδίου λεκάνης ή ιλύς της λεκάνης.

Οι αποθέσεις μεταξύ των ριπιδίων είναι σημαντικοί σε πολλά συστήματα ριπιδίων και μπορούν να σχηματίσουν ακολουθίες πάχους έως και 1000 μέτρα (Mutti, 1977; Mutti & Johns, 1979; Van Vliet, 1978; Pickering, 1981). Σχηματίζουν διακριτές μεγαακολουθίες με αυξανόμενο πάχος προς τα πάνω οι οποίες γενικά είναι μικρότερες από 5 μέτρα και αποτελούνται κυρίως από στρώματα της φάσης D και λιγότερο της φάσης C. Οι αποθέσεις μεταξύ των ριπιδίων προς το κατάντη του ρεύματος είναι ισοδύναμες των λοβών του εξωτερικού ριπιδίου και βρίσκονται σε φυσική συνέχεια με τις αποθέσεις των λοβών και τις αποθέσεις μεταξύ των λοβών. Πιθανά αποτίθενται σε πολύ επίπεδες περιοχές που χαρακτηρίζονται από μικρές κλίσεις. Τα ιζήματα των αποθέσεων μεταξύ των ριπιδίων πιθανά αποτέθηκαν από αραιωμένα, φθίνοντος δυναμικού, τουρβιδιτικά ρεύματα τα οποία είχαν προηγουμένως αποθέσει το φορτίο της άμμου που μετέφεραν, στον ψαμμιτικό λοβό.

Η κατακόρυφη οργάνωση των αποθέσεων μεταξύ των ριπιδίων δείχνει την ίδια διαδικασία παραγωγής με τους παχύτερους κύκλους των ψαμμιτικών λοβών. Πιθανά είναι αποτέλεσμα της προέλασης, των πλευρικών αλλαγών στην τοποθεσία απόθεσης και της κάθετης ανάπτυξης. Ο Ghiabaudo επέδειξε τις διαφορές μεταξύ του καναλοειδούς μεσαίου ριπιδίου, των εγγύς και απομακρυσμένων τμημάτων των ψαμμιτικών λοβών του εξωτερικού ριπιδίου και αποθέσεων μεταξύ των λοβών στις αποθέσεις του Ολιγοκαίνου του σχηματισμού Macigno στα βόρεια Απέννινα. Οι αποθέσεις μεταξύ των ριπιδίων είναι φτωχά αναπτυγμένες και μπορεί να λείπουν από αποθετικά συστήματα πλούσια σε άμμο, τουλάχιστον εν μέρει εξαιτίας της αρχικής έλλειψης σε λεπτόκοκκη και πολύ λεπτόκοκκη άμμο στα ιζήματα που τροφοδοτούν τέτοια συστήματα.

## 12) Ακολουθίες φάσεων πεδίου λεκάνης (Basin-Plain Facies Association)

Οι αποθέσεις πεδίου λεκάνης περιβάλλουν τις αποθέσεις των υποθαλάσσιων ριπιδίων στα εξώτατα όρια τους. Συσσωρεύονται σε επίπεδους πυθμένες λεκανών και γενικά διαβαθμίζονται πλευρικά σε αποθέσεις μεταξύ των ριπιδίων στα όρια του ριπιδίου και αποθέσεις κατωφέρειας σε άλλα τμήματα των περιθωρίων της λεκάνης. Σε μεγάλες ωκεάνιες λεκάνες και σε κάποιες μικρότερες ωκεάνιες περιοχές, οι αποθέσεις πεδίου λεκάνης συσσωρεύονται σε αβυσσικά πεδία τα οποία έχουν βάθος 4 έως 5 χιλιόμετρα. Το βάθος των πεδίων λεκάνης κυμαίνεται, με το μεγαλύτερο βάθος να παρατηρείται σε τάφρους και αβυσσικά πεδία. Κάποιες λεκάνες, ιδιαίτερα σε μικρές περιορισμένες ή μερικά περιορισμένες λεκάνες, οι οποίες είναι υπερτροφοδοτημένες με χονδρόκοκκο ίζημα ή περιθωριακές λεκάνες στις οποίες ο ωκεάνιος φλοιός έχει καταβυθιστεί, μπορεί να καλυφθεί εντελώς από αποθέσεις υποθαλάσσιων ριπιδίων και να απέχουν οι αποθέσεις πεδίου λεκάνης. Η αποθετική ιστορία των περισσότερων υποθαλάσσιων λεκανών ξεκινά με ιζηματογένεση πεδίου λεκάνης.

Οι αποθέσεις πεδίου λεκάνης περιλαμβάνουν μία ποικιλία φάσεων, κυρίως λεπτοστρωματώδεις τουρβιδίτες της φάσης D που εναλλάσσεται με ημιπελαγικές και πελαγικές αποθέσεις της φάσης G. Οι τουρβιδίτες της φάσης D μπορούν να ιχνηλατηθούν σε μία τομή για μεγάλες αποστάσεις χωρίς μεγάλες αλλαγές στο πάχος ή το κοκκομετρικό μέγεθος (Hesse, 1974). Η αναλογία ψαμμίτη-αργίλου των αποθέσεων πεδίου λεκάνης είναι γενικά χαμηλότερες από αυτές της πλήρωσης καναλιών, περιθωρίων καναλιών, λοβών του εξωτερικού ριπιδίου και αποθέσεων μεταξύ των ριπιδίων.

Η αναλογία ψαμμίτη-αργίλου και το πάχος των τουρβιδιτικών στρωμάτων μειώνεται συστηματικά μακριά από την πηγή τροφοδοσίας των τουρβιδιτών του πεδίου λεκάνης. Γενικά, μόνο οι αποθέσεις στην κατωφέρεια και μεταξύ των καναλιών μπορεί να έχουν μικρότερη αναλογία ψαμμίτη-αργίλου από τις αποθέσεις πεδίου λεκάνης.

Οι τουρβιδίτες των αποθέσεων πεδίου λεκάνης τυπικά δεν είναι οργανωμένες ούτε σε αυξανόμενου προς τα πάνω ούτε και σε μειούμενου προς τα πάνω πάχους μεγαακολουθίες (Mutti & Ricci Lucchi, 1972, 1975; Ricci Lucchi, 1975). Γιατί οι τουρβιδίτες που αποτέθηκαν στο πεδίο λεκάνης, μπορεί να προήλθαν από κάποιο από τα περιθώρια της λεκάνης, ενώ παχιά και λεπτά στρώματα με ποικίλη σύσταση μπορεί να διαστρωματώνονται.

Οι τουρβιδίτες του πεδίου λεκάνης μπορεί να οργανώνονται σε μεγάλης κλίμακας κατακόρυφους κύκλους που μπορεί να είναι της τάξης των εκατοντάδων ή ακόμη και χιλιάδων μέτρων σε πάχος. Αυτοί οι κύκλοι μπορεί να αντανakλούν τεκτονική ανάδυση των περιοχών τροφοδοσίας, ευστατικές αλλαγές του επιπέδου της θάλασσας, κλιματικές αλλαγές, προελάσεις ή οπισθοχωρήσεις παγετώνων και άλλες μεγάλης κλίμακας αλλαγές. Οι κύκλοι μπορεί να είναι

αυξανόμενου ή μειούμενου προς τα πάνω πάχους ή συμμετρικοί. Τέτοιοι κύκλοι έχουν περιγραφεί στον σχηματισμό του Κρητιδικού Antola στα Βόρεια Απέννινα.

Οι Ricci Lucchi & Valmori (1980) υποδιαίρεσαν τις Μειοκαινικές αποθέσεις του πεδίου λεκάνης του σχηματισμού Marnoso-arenacea σε εγγύς, μεσαία και απομακρυσμένα τμήματα βασισμένοι στις παρακάτω παραμέτρους: ολικό ποσοστό ψαμμίτη, αναλογία ψαμμίτη-αργίλου στα τουρβιδιτικά στρώματα, μέσω πάχους των ξεχωριστών τουρβιδιτικών στρωμάτων και της αφθονίας των παχυστρωματωδών ψαμμιτών.

### 1.7. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥΡΒΙΔΙΤΙΚΩΝ ΦΑΣΕΩΝ κατά Pickering et al. (1986).

Σύγχρονες μελέτες σε υποθαλάσσια περιβάλλοντα απόθεσης σύγχρονα και παλαιά οδήγησε στην καλύτερη κατανόηση των διαδικασιών μεταφοράς / απόθεσης και τον καθορισμό φάσεων που δεν ταιριάζουν απόλυτα στην ταξινόμηση του Mutti & Ricchi Lucchi (1975). Στηριζόμενοι σε αυτό το σκεπτικό οι Pickering et al. (1986) ταξινόμησαν τα υποθαλάσσια ιζήματα σε επτά κλάσεις φάσεων A-G. Οι πρώτες πέντε A-E οριοθετήθηκαν κυρίως με βάση τις διαφορές στο κοκκομετρικό μέγεθος, η κλάση F στην βάση της εσωτερικής οργάνωσης και η κλάση G με βάση την σύσταση. Στα παρακάτω γραφήματα παρατίθενται αναλυτικά τα γκρουπ φάσεων και οι ομάδες φάσεων:

#### ΟΜΑΔΕΣ ΦΑΣΕΩΝ:

<u>A: ΚΡΟΚΑΛΕΣ, ΙΛΥΩΔΗΣ ΚΡΟΚΑΛΕΣ, ΚΡΟΚΑΛΩΔΗ ΙΛΥΣ ΚΑΙ ΧΑΛΙΚΩΔΕΙΣ ΑΜΜΟΙ, ≥ 5% ΚΡΟΚΑΛΕΣ</u>	
<b>A1</b> Με ανοργάνωτη εσωτερική δομή	<b>A2</b> Με οργανωμένη εσωτερική δομή
<b>A1.1</b> Ανοργάνωτα κροκαλοπαγή	<b>A2.1</b> Στρωματοποιημένες κροκάλες
<b>A1.2</b> Ανοργάνωτα ιλυώδη κροκαλοπαγή	<b>A2.2</b> Αντίστροφα διαβαθμισμένες κροκάλες
<b>A1.3</b> Ανοργάνωτες χαλικώδεις ιλύς	<b>A2.3</b> Κανονικά διαβαθμισμένες κροκάλες
<b>A1.4</b> Ανοργάνωτοι χαλικώδεις άμμοι	<b>A2.4</b> Διαβαθμισμένες-στρωματοποιημένες
Κροκάλες	<b>A2.5</b> Στρωματοποιημένες χαλικώδεις άμμοι
	<b>A2.6</b> Αντίστροφα διαβαθμισμένες χαλικώδεις άμμοι
	<b>A2.7</b> Κανονικά διαβαθμισμένες χαλικώδεις άμμοι
	<b>A2.8</b> Διαβαθμισμένες-στρωματοποιημένες χαλικώδεις άμμοι
<u>B: ΑΜΜΟΙ, ≥ 80% ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΜΜΟΥ, &lt;5% ΠΟΣΟΣΤΟ ΧΑΛΙΚΙΟΥ</u>	
<b>B1</b> Με ανοργάνωτη εσωτερική δομή	<b>B2</b> Με οργανωμένη εσωτερική δομή

<b>B1.1</b> Παχύ/μεσαίο-στρωματώδεις, ανοργάνωτες άμμοι	<b>B2.1</b> Παράλληλα στρωματοποιημένοι άμμοι
<b>B1.2</b> Λεπτό-στρωματώδη, χονδρόκοκκοι άμμοι	<b>B2.2</b> Κάθετα-στρωματοποιημένες άμμοι
<b><u>C: ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΑΜΜΟΥ-ΙΛΥΟΣ ΚΑΙ ΙΛΥΩΔΕΙΣ ΑΜΜΟΙ, 20-80% ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΜΜΟΥ, &lt;80% ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΛΥΟΣ</u></b>	
<b>C1</b> Με ανοργάνωτη εσωτερική δομή	<b>C2</b> Με οργανωμένη εσωτερική δομή
<b>C1.1</b> Φτωχά διαβαθμισμένες ιλυούχες άμμοι	<b>C2.1</b> Πολύ παχύ/παχύ-στρωματώδεις εναλλαγές άμμου-ιλύος
<b>C1.2</b> Διάστικτοι ιλυώδεις άμμοι άμμου-ιλύος	<b>C2.2</b> Μέσο-στρωματώδεις εναλλαγές
	<b>C2.3</b> Λεπτό-στρωματώδεις εναλλαγές άμμου-ιλύος
	<b>C2.4</b> Πολύ παχύ/παχύ-στρωματώδη, με κυριαρχία ιλύος, εναλλαγές άμμου-ιλύος
<b><u>D: ΠΗΛΟΙ, ΠΗΛΟΥΧΟΙ ΑΜΜΟΙ, ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΓΕΣ ΠΗΛΟΥ-ΙΛΥΟΣ, &gt;80% ΙΛΥΣ, ≥40% ΠΗΛΟΣ, 0-20% ΑΜΜΟΣ</u></b>	
<b>D1</b> Με ανοργάνωτη εσωτερική δομή	<b>D2</b> Με οργανωμένη εσωτερική δομή
<b>D1.1</b> Ανοργάνωτοι πηλοί στρωματοποιημένος πηλός	<b>D2.1</b> Διαβαθμισμένος-
<b>D1.2</b> Ιλυώδεις πηλοί πηλού και ιλύος	<b>D2.2</b> Παχύ ακανόνιστες ελασματώσεις
<b>D1.3</b> Διάστικτος πηλός και ιλύς πηλού και ιλύος	<b>D2.3</b> Λεπτές κανονικές ελασματώσεις
<b><u>E: ≥95% ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΛΥΟΣ, &lt;40% ΠΟΣΟΣΤΟ ΠΗΛΟΥ, &lt;5% ΑΜΜΟΣ ΚΑΙ ΧΟΝΔΡΟΤΕΡΟ, ≤25% ΒΙΟΓΕΝΗ</u></b>	
<b>E1</b> Με ανοργάνωτη εσωτερική δομή	<b>E2</b> Με οργανωμένη εσωτερική δομή
<b>E1.1</b> Ανοργάνωτες ιλύς	<b>E2.1</b> Διαβαθμισμένες ιλύς
<b>E1.2</b> Ποικιλόχρωμες ιλύς	<b>E2.2</b> Ελασματοποιημένες ιλύς και άργιλοι
<b>E1.3</b> Διάστικτες ιλύς	
<b><u>F: ΧΑΩΔΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ</u></b>	
<b>F1</b> εξωτικά τεμάχια	<b>F2</b> παραμορφωμένα / διαταραγμένα στρώματα

**G: ΒΙΟΓΕΝΗ ΟΟΖΕΣ, ΗΜΙΠΕΛΑΓΙΤΕΣ ΚΑΙ ΧΗΜΙΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ < 5% ΧΕΡΣΑΙΑ ΑΜΜΟΣ****ΚΑΙ ΚΡΟΚΑΛΕΣ**

**G1** Βιογενής "οοζες" (αποθέσεις πελαγικών **G2** Ημιπελαγίτες **G3** Χημιγενή ιζήματα ιζημάτων με >30% σκελετικά υπολείμματα μικροοργανισμών) και "arls"

*Πίνακας 1.3. Ταξινόμηση των τουρβιδιτικών φάσεων κατά Pickering et al. (1986).*

**1.8. ΤΥΠΟΙ ΤΟΥΡΒΙΔΙΤΙΚΩΝ ΑΠΟΘΕΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.**

Βασισμένος στην εμπειρία των σε μεγάλο βαθμό επιμηκυσμένων λεκανών, στα νότια των Πυρηναίων, ο Mutti (1985) αναγνώρισε τρεις τύπους τουρβιδιτικών αποθετικών συστημάτων, τους οποίους συσχέτισε με τις βαρυντικές ροές. Τα συστήματα αυτά είναι:

**Συστήματα τύπου I :** πρόκειται για αποθετικά συστήματα όπου ο κύριος όγκος του ψαμμίτη παρουσιάζεται σε μη καναλοποιημένες μάζες λοβοειδούς σχήματος. Τα συστήματα αυτά ομοιάζουν με αυτά που ακολουθούν το μοντέλο "υψηλής αποδοτικότητας" του Mutti (1977). Οι ψαμμιτικές μάζες χαρακτηρίζονται από εγκάρσια συνέχεια και σαφή τραπεζοειδή γεωμετρία. Το σχήμα αυτό μπορεί να διατηρείται σε αποστάσεις αρκετών δεκάδων χιλιομέτρων παράλληλα προς την διεύθυνση του ρεύματος. Κάθε λοβός εμφανίζει πάχος 3 - 15 μέτρων, είναι χαρακτηριστικής πυκνής στρώσης και μεταβαίνει παράλληλα προς το ρεύμα σε πιο λεπτές στρώσεις, ενώ και το κοκκομετρικό μέγεθος μειώνεται (αποθέσεις μεταξύ των λοβών-lobe fringe- των Mutti & Ricci Lucchi, 1975). Σε κάποια συστήματα το πάχος της ακολουθίας λοβοί ψαμμίτη - αποθέσεις μεταξύ των λοβών μπορεί να φθάσει την τάξη των μερικών εκατοντάδων μέτρων. Το ανώτερο τμήμα των λοβών αντιστοιχεί σε μεγάλης κλίμακας υποθαλάσσιες διαβρώσεις, οι οποίες κόβουν τα ιζήματα της υφαλοκρηπίδας. Αυτές επεκτείνονται προς την λεκάνη ως διαβρωτικά χαρακτηριστικά, σε ένα μήκος 10-15 χιλιόμετρα, τέμνοντας την κατωφέρεια και την λεπτή στρώση ψαμμίτη και ιλύολιθου της λεκάνης. Στο ανώτερο μέρος τους αυτές οι μεγάλης κλίμακας διαβρωτικές δομές, εμφανίζουν σε μεγάλο βαθμό χαοτικές αποθέσεις.

Κατά μήκος του ρεύματος και με φορά προς το στόμιο του οι χαοτικές αποθέσεις βαθμιαία αντικαθίστανται από τουρβιδιτικές εναλλαγές ιλύολιθου και ψαμμίτη, καθώς και φακοειδή ψαμμιτικά σώματα. Οι χονδρόκοκκες αυτές επιστρώσεις αποτελούν το υλικό πλήρωσης των μικρότερων καναλιών που διατέμνουν τον κύριο διαβρωτικό φορέα. Ο σχηματισμός και η πλήρωση των δευτερευόντων καναλιών λαμβάνει χώρα σε διάφορες περιόδους κατά την διάρκεια εξέλιξης του συστήματος. Τα μικρότερα κανάλια έχουν πάχος μικρότερο των 50 μέτρων και πλάτος της τάξης του 1-1,5 χιλιομέτρων.



Σύμφωνα με τα παραπάνω διαφαίνεται ότι σε αυτό το περιβάλλον απόθεσης κύριο χαρακτηριστικό είναι η παράκαμψη του καναλιού από την άμμο και η απόθεση της στις εξωτερικές, επίπεδες περιοχές της λεκάνης. Οι λοβοί του ψαμμίτη σε αυτά τα συστήματα είναι απομονωμένοι από τις αλληλουχίες πλήρωσης του κυρίου καναλιού, οι οποίες παρατηρούνται στα εσωτερικά τμήματα της λεκάνης .

Τα συστήματα τύπου I παρατηρούνται καλύτερα σε μεγάλες και επιμηκυσμένες λεκάνες φλύσχη, οι οποίες δημιουργούνται σε ζώνες κατακρήμισης του εδάφους. Ο όγκος των τουρβιδιτικών αποθέσεων σε τέτοιου είδους περιβάλλοντα υπερβαίνει τα 20.000 κυβικά μέτρα .

**Συστήματα τύπου II :** Τα συστήματα αυτού του τύπου περιλαμβάνουν όλα τα περιβάλλοντα απόθεσης στα οποία τα στρώματα ψαμμίτη αποτίθενται στα κατώτερα άκρα των καναλιών και στις περιοχές που βρίσκονται όπισθεν των εκβολών του καναλιού. Κατ'αυτόν τον τρόπο σχηματίζονται εκτεταμένες καναλοποιημένες μάζες, οι οποίες μεταβαίνουν κατά τη φορά του ρεύματος σε λοβοειδής ψαμμιτικές αποθέσεις. Η μετάβαση των καναλιών σε λοβούς συμβαίνει, τόσο πλευρικά όσο και κάθετα, μέσω καλά καθορισμένων μεταβατικών φάσεων.

Τα πολύ χονδρόκοκκα συστήματα τύπου II αποτελούνται σχεδόν ολοκληρωτικά από καναλοποιημένες αποθέσεις. Η μείωση του κοκκομετρικού μεγέθους τείνει να ευνοήσει το σχηματισμό των λοβών. Ωστόσο η ανάπτυξη των λοβών είναι περιορισμένη σε όγκο και έκταση, σε σχέση με τους λοβούς του συστήματος I . Τα συστήματα τύπου II συμπίπτουν με το μοντέλο “φτωχής αποδοτικότητας “ ριπιδίων του Mutti (1977). Τα αποθετικά σχήματα των συστημάτων αυτών ομοιάζουν έντονα με εκείνα των επιφανειακών ριπιδίων που περιέγραψε ο Normark, αν και οι περιγραφές του Normark αφορούν περιόδους αξιοσημείωτα υψηλής παροχής άμμου .

Στην τριτογενή λεκάνη του Piedmont (Mutti, 1985), βορειοδυτικά της Ιταλίας, τα συστήματα τύπου II αναπτύχθηκαν κατά την πλήρωση με ίζημα των υποθαλάσσιων λεκανών άνω Ολιγοκαινικής - κάτω Μειοκαινικής ηλικίας. Η παροχή σε άμμο πυροδοτήθηκε από την δράση συνιζηματογενών ρηγμάτων. Οι ακολουθίες μέσα στη λεκάνη του Piedmont ποικίλουν σε έκταση και πάχος, ξεκινώντας με μικρές μάζες ψαμμίτη μήκους 4 χιλιομέτρων και πάχους 10-30 μέτρων και φθάνοντας σε μάζες μήκους 20 χιλιομέτρων και πάχους μερικών εκατοντάδων μέτρων .

**Συστήματα τύπου III:** Χαρακτηρίζονται από μικρά κανάλια πληρούμενα με ψαμμίτη που περιβάλλονται , αλλά και μεταβαίνουν κατά τη φορά του ρεύματος, από ιλυούχες ακολουθίες. Τα κανάλια του ψαμμίτη δεν επεκτείνονται προς την λεκάνη, όντας περιορισμένα στα εσωτερικά τμήματα του συστήματος. Οι αλληλουχίες πλήρωσης του καναλιού δημιουργούνται από λεπτόκοκκο έως μεσόκοκκο ψαμμίτη, ο οποίος δομεί λεπτά στρώματα που αποσφηνώνονται προς

τα άκρα του καναλιού. Τέτοιου είδους συστήματα παρατηρούνται στην Ηωκαινική ομάδα Hecho (Νότια-Κεντρικά Πυρηναία), στην Τριτογενή λεκάνη του Piedmont και στην λεκάνη Neuquen του Ιουρασικού, στην Αργεντινή (Mutti, 1985). Στις παραπάνω λεκάνες τα κανάλια έχουν πάχος μικρότερο των δέκα μέτρων και πλάτος έως και δέκα μέτρα. Τα κανάλια περιβάλλονται από μεγαλύτερους σε όγκο ιλυόλιθους, καθώς και από λεπτόκοκκο ψαμμίτη που αποτίθεται κάτω από διαδικασίες αναχωμάτωσης. Χαρακτηριστικό αυτών των ιλυούχων ιζημάτων είναι κάποιες αποθετικές δομές όπως πτυχές ολίσθησης. Προχωρώντας προς τα βαθύτερα τμήματα της λεκάνης η στρωμάτωση του ιλυόλιθου γίνεται όλο και πιο δυσδιάκριτη, λόγω ελάττωσης του κοκκομετρικού μεγέθους .

Τα συστήματα τύπου III είναι προφανώς η αρχαία έκφραση των συμπλεγμάτων καναλιού - αυλακιού. Ωστόσο το μέγεθος των μελετούμενων αρχαίων συστημάτων είναι πολύ μικρότερο σε σχέση με εκείνο παρόμοιων και πολύ πιο σύγχρονων συμπλεγμάτων που αναπτύχθηκαν έξω από μεγάλα δέλτα.

### **1.9 ΙΧΝΟΑΠΟΛΙΘΩΜΑΤΑ (ichnofossils ή trace fossils)**

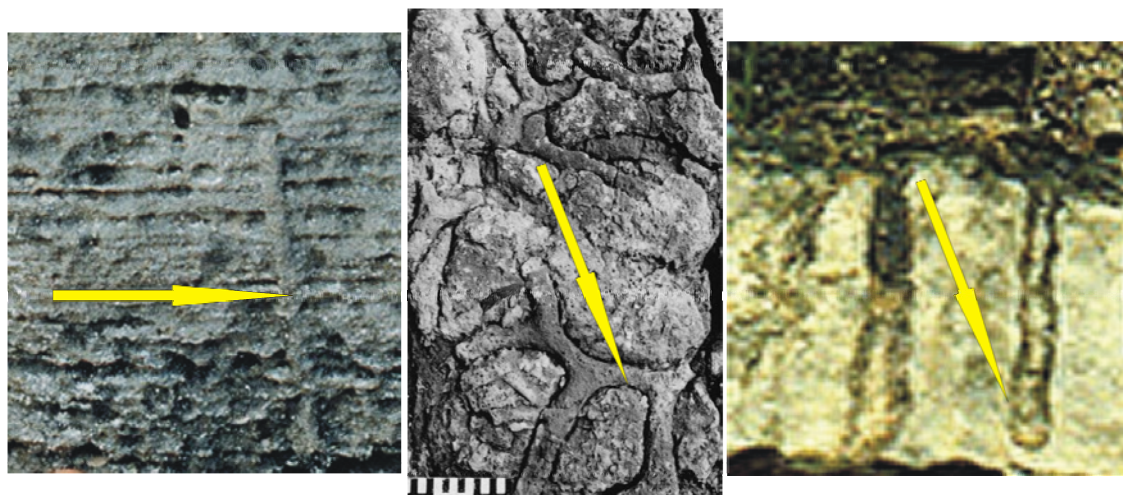
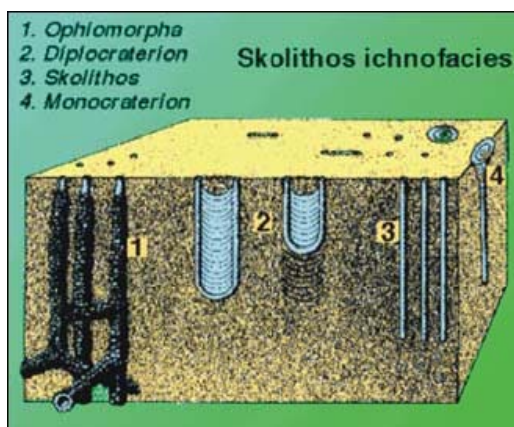
Τα ιχνοαπολιθώματα αποτελούνται από ίχνη, σημάδια από σύρσιμο, τρύπες και άλλες δομές (π.χ πατημασιές) οι οποίες δημιουργούνται από οργανισμούς εντός ή εκτός του υποστρώματος. Τα περισσότερα ιχνοαπολιθώματα σχηματίζονται μετααποθετικά, αν και κάποια είναι σύγχρονα με την ιζηματογένεση. Λόγω του γεγονότος ότι οι οργανισμοί που δημιουργούν τις δομές αυτές είναι εντελώς αυτόχθονοι, μπορούν να αποτελέσουν δείκτη διαφόρων παραμέτρων όπως το παλαιοβάθος, περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο, αλατότητα κ.α. Έτσι, αποτελούν ένα πολύ σημαντικό παράγοντα για την παλαιοοικολογική αναδόμηση των μελετηθέντων ιζημάτων υποθαλάσσιων ριπιδίων.

Ομάδες συγκεκριμένων ιχνοαπολιθωμάτων χαρακτηρίζουν ποικίλες βαθυμετρικές ζώνες. Τα γκρουπ αυτά εξαρτώνται κυρίως από παραμέτρους σχετιζόμενες με το βάθος, όπως αλλαγές της θερμοκρασίας του ύδατος, αλατότητας, διαλυτότητας του οξυγόνου, τύρβωσης, ρυθμούς ιζηματογένεσης, κ.α. Η παρουσία ιχνοαπολιθωμάτων «ρηχών υδάτων» σε βαθιά ύδατα και το αντίθετο δεν είναι ασυνήθιστο. Αυτό συμβαίνει γιατί κύριο όγκο της κατανομής των ιχνοαπολιθωμάτων είναι τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος και η διαθέσιμη τροφή παρά η βαθυμετρία αν και σε περιβάλλοντα βαθέων υδάτων στα οποία εμφανίζονται ιχνοαπολιθώματα «ρηχών υδάτων», η αναλογία ιχνοαπολιθωμάτων ρηχών υδάτων προς βαθέων υδάτων ελαττώνεται με την αύξηση του βάθους. Σε ένα υποθαλάσσιο ριπίδιο παρατηρούνται διαφορές στην κατανομή των ιχνοαπολιθωμάτων ρηχών και βαθέων υδάτων ανάλογα με το εκάστοτε περιβάλλον ιζηματογένεσης και απόθεσης. Έτσι σε περιβάλλον υποθαλάσσιου φαραγγιού και στο

εσωτερικό ριπίδιο, συνήθως περιέχεται μικρή ποικιλία ιχνοαπολιθωμάτων με επικράτηση των ειδών των ρηχών υδάτων, σε περιβάλλον μεσαίου ριπιδίου παρατηρείτε ένα μείγμα ιχνοαπολιθωμάτων ρηχών και βαθέων υδάτων, ενώ σε περιβάλλον εξωτερικού ριπιδίου σπάνια παρατηρούνται ιχνοαπολιθώματα ρηχών υδάτων, αλλά υπάρχουν σε μεγάλη ποικιλία και αφθονία τα ιχνοαπολιθώματα βαθέων υδάτων.

Ανάλογα με την βαθυμετρία τα ιχνοαπολιθώματα κατατάσσονται στις εξής τέσσερις ομάδες:

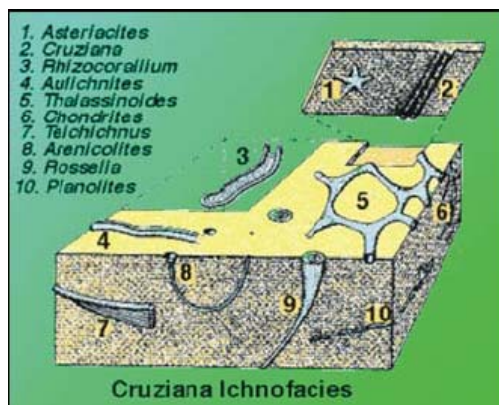
#### 🚩 Ομάδα του ιχνοαπολιθώματος Scolithos (π.χ Scolithos, Diplocraterion, Ophiomorpha)



Εικόνα 1.4. Ιχνοαπολιθώματα της ομάδας Scolithos

Συναντάται σε αβαθή θαλάσσια περιβάλλοντα(π.χ παράκτια), όπου ο ρυθμός ιζηματογένεσης είναι σχετικά υψηλός και τα θραύσματα τροφής διατηρούνται σε αιώρηση λόγω των ρευμάτων.

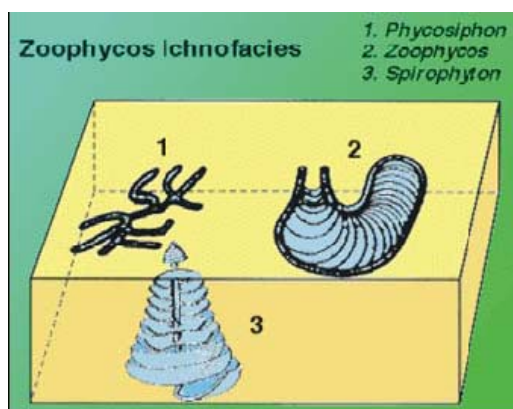
🚩 Ομάδα του ιχνοαπολιθώματος Cruziana (π.χ Cruziana, Planolites, Thalassinoides )

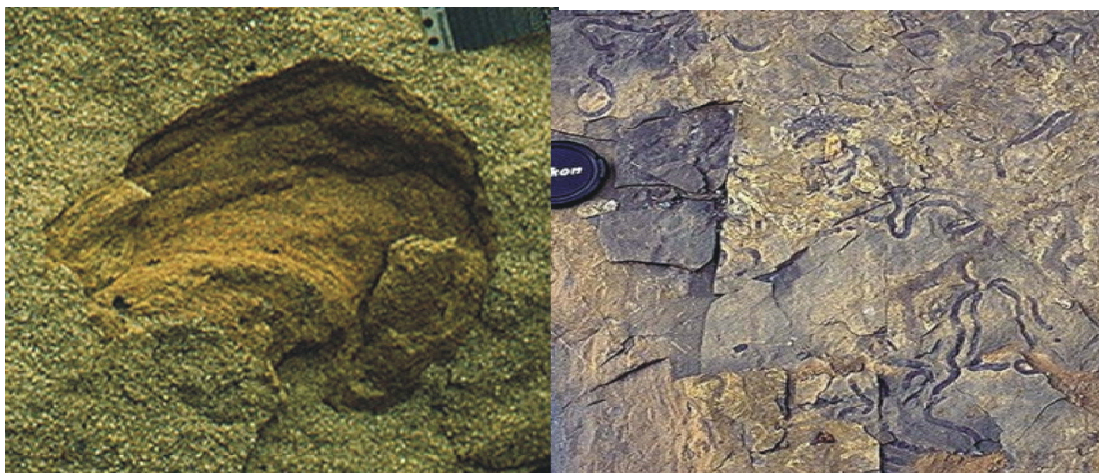


Εικόνα 1.5 Ιχνοαπολιθώματα της ομάδας Cruziana .

Εμφανίζεται σε μεγαλύτερα βάθη (π.χ περιοχές υφαλοκρηπίδας), όπου η ρευματική δράση είναι λιγότερο έντονη από την παράκτια ζώνη και η τροφή καθιζάνει στον πυθμένα.

🚩 Ομάδα του ιχνοαπολιθώματος Zoophycos (π.χ Zoophycos, Phycosiphon )

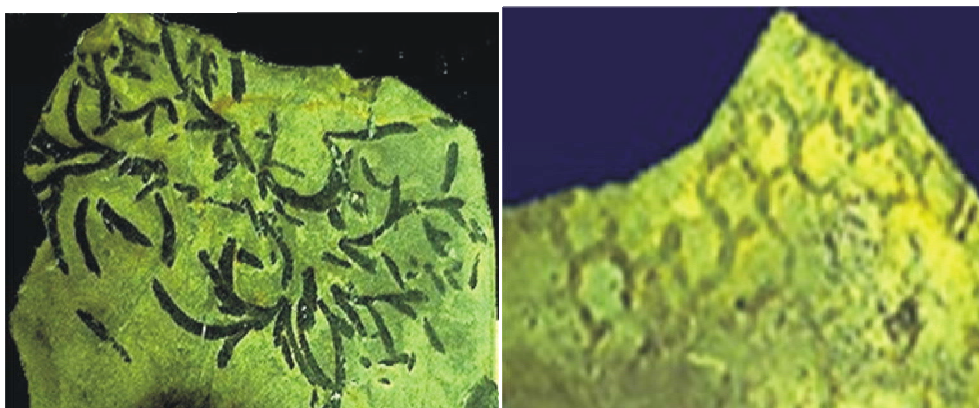
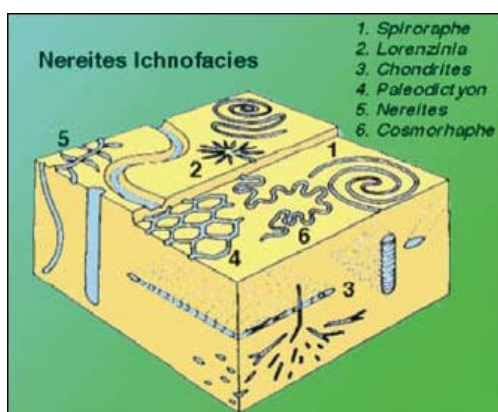




Εικόνα 1.6 Ιχνοαπολιθώματα της ομάδας *Zoophycos*

Ενδιάμεση στο χαρακτήρα του βάθους μεταξύ των ομάδων της *Cruziana* και *Nereites*.

🚩 **Ομάδα του ιχνοαπολιθώματος *Nereites* (π.χ *Nereites*, *Paleodictyon*, *Lorenzina*)**



Εικόνα 1.7 Ιχνοαπολιθώματα της ομάδας *Nereites*.

Παρατηρείται σε μεγαλύτερα βάθη (βαθιάς θάλασσας και αβυσσαλέα βάθη) και απόσταση από τις ζώνες παραγωγής της τροφής.

## 1.10 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ALLEN, J.R.L., (1991) Salt marsh accretion and sea level movement in the inner Severn Estuary, southwest Britain: The archaeological and historical contribution, *Journal of the Geological Society London*, **148**, *aEX*. 485-497.
- BOUMA, A.H., (1962) *Sedimentology of Some Flysch Deposits: A Graphic Approach to Facies Interpretation*: Amsterdam, Elsevier, p 168.
- HEEZEN, B.C. AND EWING, M., (1952). Turbidity currents and submarine slumps and the 1929 Grand Banks earthquake . *Am. J. Sci.* , 250, 849-873.
- HESSE, R., (1974) Long distance continuity of turbidites: Possible evidence for an early Cretaceous trench-abyssal plain in the East Alps: *Geol. Soc. America Bull.*, 85, 859-870.
- HUGHES C.J.E., SHOR AN, PIPER D.J.W., MAYER LA., (1990) Large - scale current-induced erosion and deposition in the path of the 1929 Grand Banks turbidity current. *Sedimentology* 37: 613-629.
- KUENEN, PH H., & MIGLIORINI, C. I., (1950) Turbidity currents as a cause of graded bedding. *Journal of Geology*, 58, 91-127.
- LOWE, D.R., (1982) Sediment gravity flows: II Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *J. Sed. Petrol.*, 52, 1, 279-297.
- MEISCHNER, K. D., (1964) Allodapisch Kalke Turbidite in RiffNahen Sedimentations-Becken en: A. Bouma and A. Brouwer (Editors) *Turbidites* Elsevier, Amsterdam, 156-191.
- MIDDLETON, G.V., (1966) Experiments on density and turbidity currents. I. Motion of the head. *Can. J. Earth Sc.*, 3, 523-546.
- MIDDLETON, G.V. AND HAMPTON, M.A., (1973) Sediment gravity flows: mechanics of flow and deposition, in Middleton, G.V., and Bouma, A.H., eds., *Turbidites and Deep Water Sedimentation*: S.E.P.M., Pasific Sect. Short Course, Anaheim, California, 1-38.
- MIDDLETON, G.V. HAMPTON, M.A., (1976) Subaqueous sediment transport and deposition by gravity flows .In Stanley DJ, Swift DJP (eds) *Mañne sediment transport and environmental management*. Wiley, New York, 197-218.
- MULDER, T AND SYVITSKI J.P.M., (1995) Turbidity currents generated at mouths of rivers during exceptional discharges to the world oceans. *J. Geol.* 100, 525-544.
- MULDER T. AND SYVITSKI P.M., (1995) Turbidity currents generated at river mouths during exceptional discharge to the world oceans. *J. of Geol.*, 103, 285-299.
- MUTTI, E. (1977) Thin-bedded turbidite facies and related depositional environments in the Paleogene Hecho Group System (south-central Pyrenees, Spain): *Sedimentology*, 24, 107-131.
- MUTTI, E. (1985) Turbidite systems and their relations to depositional sequences, In: *Provenance of arenites*: Dordrecht, D. Reidel, 65-93.
- MUTTI, E. AND RICCI LUCCHI, F., (1972) Le torbiditi dell'Appennine settentrionale: introduzione all'analisi di facies : *Memoñe Societa Geologica Italiana*, 11, σελ. 161-199. (Μεταφρασμένο στα Αγγλικά από τον T.H. Nilsen, (1978) *International Geology Review*, 20, 2, 125-166.
- MUTTI, E. AND RICCI LUCCHI, F., (1975) Turbidite facies and facies associations, In: *Examples of turbidite facies and facies associations from selected formations of the northern Apennines*: LA.S. fieldtrip guidebook A-11, *International Sedimentologic Congress IX*, 21-36.
- MUTTI, E., NILSEN, T.H., AND RICCI LUCCHI, F., (1978) Outer fan depositional lobes of the Laga Formation (upper Miocene and Lower Pliocene), east-central Italy, in Stanley, D.J., and Kelling, G., eds., *Sedimentation in Submarine Canyons, Fans, and Trenches*: Stroudsburg, Pennsylvania, Dowen, Hutchinson and Ross, 210-223.
- MUTTI, E., AND JOHNS, D.R., (1979) The role of sedimentary by-passing in the genesis of fan fringe and basin plain turbidites in the Hecho Group system (south-central Pyrenees): *Memoñe Societa Geologica Italiana*, 18, 15-22.

- MUTTI, E., AND SONNINO, M., (1981) Compensation cycles: A diagnostic feature of turbidite sandstone lobes: Abstract Volume, 2<sup>nd</sup> Reg.Meet. Int. Ass. Sed., Bologna, 120-123.
- NELSON, C.H., (1976) Late Pleistocene and Holocene depositional trends, processes, and history of Astoña deep-sea fan, northeast Pacific: *Marine Geology*, 20, 129-173.
- NELSON, C.H. & NILSEN, T.H., (1984) Modern and ancient deep-sea fan sedimentation. *Soc. Econ. Paleontol. Mineral.*, Short course, 14.
- NORMARK, W.R. AND PIPER, D.J.W., (1991) Depositional consequences of turbidity currents reflecting initiation processes and flow evolution. *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Paper*, 4, 207-230.
- PICKERING, K.T., (1981) The Kongsfjord Formation- a late Precambrian submarine fan in North-east Finnmark, North Norway: *Norges Geologiske Undersokelse*, 367, σελ. 77104.
- PICKERING, K., STOW, D., WATSON, M. & HISCOTT, R., (1986) Deep water facies, Processes and models: A review and classification scheme for modern and ancient sediments, *Earth Science Reviews*, 23, 75-174.
- PIPER, D.J.W., SHOR, AN., (1988) The 1929 "Grand Banks" earthquake, slump, and turbidity current. In Clifton HE (ed) *Sedimentologic consequences of convulsive geologic events*. *Geol. Soc. Am. Spec.Pub.*, 229, 77-92
- SCHOLLE, P.A., (1971) Sedimentology of fine-grained deep-water carbonate turbidites, Monte Antola Flysch (Upper Cretaceous), Northern Apennines, Italy. *Geol.Soc.Am.Bull.*,82, 629-658.
- RICCI LUCCHI, F., (1975) Depositional cycles in the two turbidite formations of northern Apennines: *Jour. Sed. Petrology*, 45, 3-43.
- RICCI LUCCHI, F., AND VALMORI, E., (1980) Basin-wide turbidites in a Miocene, over-supplied deep-sea plain: A geometrical analysis. *Sedimentology*, 27, 241-270.
- SHANMUGAM, G., (1997) The Bouma sequence and the turbidite mind set. *Earth-Science Reviews*, 42, 201-229.
- SHANMUGAM, G., (2002) Ten turbidite myths, *Earth-Science Reviews*, 58, 313-343.
- STOW, D.A.V. AND BOWEN, A.J., (1980) A physical model for the transport and sorting of fine-grained sediment by turbidity currents: *Sedimentology*, 27, 31-46.
- STOW, D.A.V. AND WETZEL, A(1990) Hemiturbidite: a new type of deep- water sediment. in: Cochran, J.R., Stow, D.AV. et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Project, Scientific Results*, 116. College Station (Ocean Drilling Program), 25-34.
- STOW, D.A.V., JOHANSSON, M., BRAAKENBURG, N.E. AND FAUGERES, J-G., (1999) Deep-water massive sands: facies, processes and channel geometry in the Numidian Flysch, Sicily, *Sedimentary Geology*, 121, σελ. 283-291.
- VAN ANDEL, T.H., AND KOMAR, P.D., (1969) Ponded sediments of the Mid-Atlantic Ridge between 22° and 23° North Latitude. *Geol. Soc. Am. Bull*, 80, σελ. 1163-1190.
- VAN VLIET, A., (1978) Early Tertiary deepwater fans of Guipuzcoa, Northern Spain, in Stanley, D.J., and Kelling, G., eds., *Sedimentation in Submarine Canyons, Fans, and Trenches*: Stroudsburg, Pennsylvania, Dowen, Hutchinson88 and Ross, σελ. 190-209.
- WALKER, R.G., (1965) The origin and significance of the internal sedimentary structures of turbidities: *Proceedings of the Vorkshire Geological Society*, 33, σελ. 1-29.
- WALKER, R.G. & MUTTI, E., (1973) Turbidite facies and facies associations. In: *Turbidites and deep-water sedimentation*, Pacific Section Soc. Econ. Paleont. Miner., 119-157, Los Angeles, California.
- WALTON, E. K., (1967) The sequence of internal structures in turbidites: *Scottish Journal of Geology*, 3, σελ. 305-317.