

APVE
EXPLO
1436

6 EXPLO

Ente Nazionale Idrocarburi

E.N.I.

P. F. Barnaba

Janf
N° 1

SCUOLA DI STUDI SUPERIORI SUGLI IDROCARBURI

LA SCUOLA IN AZIONE

Estratto dal Notiziario n. 6

AUGUSTIN LOMBARD

IL FLYSCH

SOC. TIP. «MULTA PAUCIS» - VARESE

IL FLYSCH*

Augustin Lombard

Augustin Lombard, nato nel 1905 a Ginevra, ha compiuto gli studi di Geologia presso le Università di Zurigo, Ginevra e Harvard, conseguendo la Libera Docenza in Geologia del sedimentario. Nel 1948 l'Università Libera di Bruxelles gli conferiva la direzione degli Istituti di Geologia Generale nella Facoltà di Scienze e di Geologia Applicata nel Politecnico. Dal 1958 è professore ordinario di Geologia del sedimentario all'Università di Ginevra ed ha compiuto viaggi di studio negli Stati Uniti, in Africa Settentrionale e nel Congo Belga, partecipando alla spedizione del 1952 al Monte Everest. Ha collaborato alla compilazione della carta geologica della Svizzera ed è stato Presidente della Società Belga di Geologia e Vice-Presidente della Società Geologica Svizzera e della Società Geografica di Ginevra. Ha partecipato, a capo della Delegazione Svizzera, al 5° Congresso Internazionale di Sedimentologia. È Fellow della Geological Society of America ed autore di pubblicazioni di Geologia Alpina e di Geologia del sedimentario, nonché di importanti studi sulle serie ritmiche e sul flysch.

GENERALITÀ

Nel 1827, Bernard Studer, geologo bernese, descriveva sotto il nome di flysch delle spesse formazioni di scisti e di arenarie che si estendono dal lago Thoune a quello dei Quattro Cantoni. Da allora, questo termine è stato esteso a formazioni simili e di età diverse, non soltanto nell'orogene alpino, ma anche in altre catene più antiche.

Lungamente considerato come uniforme e pressochè senza fossili, il flysch è diventato oggetto di numerosi studi che si servono di tutti i metodi della moderna litologia. Si è allora scoperta la grande complessità delle sue formazioni e la conoscenza delle sue facies sta attualmente facendo grandi progressi.

* Pubblichiamo questo articolo, che è destinato a far parte della « Enciclopedia del Petrolio e dei Gas Naturali », promossa dall'E.N.I., con il cortese consenso del suo Direttore, al quale esprimiamo il nostro ringraziamento.

È difficile dare una definizione semplice o sintetica del flysch. Si possono pertanto riportare i suoi diversi caratteri ad alcune nozioni fondamentali:

1) Il flysch è un facies e, come tale, può presentarsi in età diverse.

2) Esso precede, nella sua formazione, i parossismi orogenici.

3) La sua composizione litologica è essenzialmente detritica e, subordinatamente, calcarea o silicea. La diagnosi va fatta su una serie di strati e non su un singolo campione.

4) il flysch è marino. Non vi si conoscono che fossili di piccole dimensioni, in particolare Foraminiferi, Alghe e Briozoi.

5) Le aree di flysch sono localizzate in affossamenti intra-orogenici. I loro sedimenti indicano il riempimento di queste fosse; essi precedono l'emersione ed il piegamento.

Il flysch risulta, nel suo insieme, da movimenti attivi di sollevamento nelle regioni emerse e da subsidenza dei fondi marini con tutte le loro conseguenze sulla sedimentazione.

LITOLOGIA

Prenderemo qui come esempio soprattutto il flysch alpino occidentale. I materiali detritici sono i costituenti più abbondanti. Gli elementi grossolani, più facilmente identificabili, mostrano una grande varietà di componenti che riflettono la diversità del retropaese emerso ed eroso: graniti diversi, la maggior parte dei quali sono attualmente sconosciuti in posto, gneiss, scisti cristallini e metamorfici, rocce sedimentarie varie di facies sedimentarie intra-alpine, diaspri e calcari silicei. Si denominano « Wildflysch » i conglomerati a blocchi molto grossi. Si tratta di detriti di falesie litorali che sono precipitati e si sono sedimentati in posto o quasi. Queste falesie potevano corrispondere a faglie e a flessure costiere attive. Si conoscono, nel flysch della Sicilia, delle « lame scivolate » (« lames glissées ») che mi-

surano parecchi chilometri di lunghezza e sedimentate in fanghi litorali. Il meccanismo della loro origine si paragona tettonicamente a quello del « Wildflysch ». La varietà dei componenti dei conglomerati diminuisce con il decrescere del diametro dei granuli e, per le arenarie fini, si arriva ad una facies banale molto caratteristica. Non è raro incontrare delle grovacche o delle quarziti e delle arcose. Una classificazione precisa dei granuli in base alle loro dimensioni non è mai possibile: la loro forma è angolosa ed il contenuto in quarzo è elevato.

La gamma delle peliti, seguita da quella delle aleuriti, comprende granuli di tutte le dimensioni, passando dalle arenarie molto fini agli scisti. Il ferro è assente come pure il manganese ed il fosforo. La silice, in forma diffusa, si trova mescolata a tutte le rocce detritiche ed ai calcari.

Il calcare è finemente clastico, quasi sempre argilloso e siliceo. Più raramente si arriva a distinguere, in fine di sequenza, una roccia abbastanza pura da trovarvi delle microfaune a guscio calcareo: Foraminiferi bentonici, Alghe, Briozoari e spicole di Spugne silicee.

Le dolomie, le ooliti, le formazioni recifali, come pure le evaporiti, sono sconosciute. Di contro, si può trovare del carbone in strati sottili ed irregolari e del petrolio.

Vi sono delle intercalazioni di rocce effusive in più bacini (Kamchatka, Prealpi Svizzere).

FAUNE E FLORE

Un carattere notevole in numerose serie del flysch è l'assenza dei grandi fossili. Di contro, si conoscono frammenti di Lamellibranchi, di Briozoari e di Alghe. La microfauna è planctonica e bentonica ed è costituita da Foraminiferi. La presenza di microforme è in relazione con la granulometria e con la presenza di calcare nel deposito. Al di sotto di un certo diametro, tutto il materiale organico detritico è stato ridotto in dimensioni troppo piccole per lasciar sussistere una struttura identificabile.

I residui vegetali sono ridotti a minuti frammenti carboniosi dispersi sulle superfici superiori di stratificazione.

Le tracce di organismi sono frequenti e varie, soprattutto sulle superfici inferiori della stratificazione. Sono stati rappresentati, in maniera molto evidente ed in numerose pubblicazioni, orme di dimensioni diverse, impronte varie, fori di vermi e cavità. Ne esistono in tutte le province di flysch. Si possono citare, a questo proposito, gli elmintoidi ed i fucoidi che sono frequenti nelle litofacies di fanghi calcarei.

STRATONOMIA

Uno degli elementi caratteristici del flysch è la sua disposizione in banchi duri, separati da letti scistosi. I banchi possono essere arenacei, calcarei o conglomeratici e, in questo caso, essi saranno più spessi di quelli costituiti da arenarie o da calcari. Nelle serie erciniche è stato spesso osservato che gli spessori sono funzione della granulometria del deposito. I banchi conglomeratici hanno qualche volta una notevole continuità, superiore ad un chilometro, e i gruppi di banchi possono estendersi per distanze ancora molto maggiori. Tuttavia, questo carattere di estensione e di continuità varia molto da un bacino all'altro. La fogliettatura (« litage ») è varia, mostrando tessiture compatte, monotone o zonate, gradate (« granoclassées »), contorte (« contournées »), a stratificazione incrociata. Altrove essa è monotona. Le superfici limite, in particolare quelle che contraddistinguono basi di sequenze, presentano segni di pressione, trazione, slittamento, scorrimento, flussione ed erosione. Trattasi di forme, costituite da materiale arenaceo, in rilievo sulla superficie inferiore dei banchi. Tali forme, infatti, rappresentano delle impronte dovute ad irregolarità della superficie superiore del banco sottostante, allorchè quest'ultimo è costituito da « siltstone ». In altri casi, trattasi della « imbutitura » dello strato superiore entro quello inferiore, essendo le due unità plastiche, ma di composizione e comportamento differenti.

Certi segni di erosione hanno permesso di ricostruire la direzione ed il senso delle correnti d'acqua. Vi si è anche voluto vedere la traiettoria di scorrimento di correnti di torbidità. L'ipotesi, spinta agli estremi, ha permesso di ricostruire il tragitto di migrazione di masse sedimentarie e di cercare la loro origine. Il trasporto dei sedimenti avverrebbe parallelamente ai litorali.

SEQUENZE E RITMI

Lo studio molto dettagliato dei successivi strati che formano la serie di flysch ha mostrato che essi sono formati da termini litologici differenziati (arenarie grossolane - medie - fini - argilliti - scisti - calcari). Lungi dall'essere disordinati, questi litotermini tendono, al contrario, a disporsi in sequenze di 2, 3, 4 o più termini denominati « sequenze litologiche » ed ogni serie parziale di un insieme di flysch è caratterizzata da sequenze tipiche deteminate dal numero dei termini, dai loro spessori e dalla loro variazione. Esistono numerose sequenze caratteristiche che hanno in comune il fatto di presentare una gradazione (« granoclassement ») decrescente dei granuli da un litotermino al successivo, allorchè la serie si osserva dal basso verso l'alto.

Sono ben note tali sequenze, sia a scala piccola (dell'ordine del centimetro) sia a scala media (dell'ordine del decimetro). Ne esistono però anche a scala superiore (megasequenza) e, in tal caso, esse coprono, in certe unità tettoniche, (Niesen, Ferret), una serie intera di flysch. Questo ordinamento in sequenze si ripete e dà delle serie ritmiche. Esso mostra il carattere evolutivo della sedimentazione sul quale si ritornerà in seguito. Si ha così un ordinamento granulometrico per sequenze che inglobano sia del materiale detritico che dei calcari. Questi due caratteri, a loro volta, incidono sulla ripartizione generale delle faune.

Questa disposizione ritmica della facies non è assoluta ed in certi flysch manca del tutto o si ha solo in parte. Essa è indipendente dalla stratificazione, ma può coincidere con essa; in tal caso, i limiti dei termini litologici coincidono con le superfici o con i giunti di stratificazione.

FORMAZIONE DEL FLYSCH

Ambiente paleogeografico. — Il flysch è una formazione marina, depositatasi in bacini allungati di tipo « liminare » e subsidente, delimitati da rilievi accentuati in fase di sollevamento. Si tende a rappresentare i bacini di flysch addossati ad un litorale a delta al margine di un retropaese montagnoso del quale provengono gli elementi terrigeni e detritici. Il bacino è più aperto dal lato opposto a quello della cordigliera o del continente. Lungo il fondo decorrono dorsali e solchi mobili che intrappolano i sedimenti e che obbligano i fanghi ancora fluenti a disporsi in laminazioni di scorrimento plastico. Questa disposizione asimmetrica del bacino è dimostrata in certi casi (Sauerland, paese del Galles) ma essa è lungi dall'essere provata nel dominio alpino, dove le strutture primarie sono state distrutte. Queste forme di bacini e le relazioni del cratone con i fondi di depositi sono inseparabili dalle nozioni di fessure marginali e dal carattere « mono o biliminare » delle catene che delimitano i bacini del flysch (L. Glangeaud 1957).

I sedimenti del flysch mostrano un deposito in ambiente sia riducente sia ossidante, l'uno potendo fare seguito all'altro in uno stesso bacino, nel corso del deposito di una medesima serie.

La batimetria del deposito è stata oggetto di numerose discussioni. Il flysch è o non è un deposito profondo? Attualmente prevale l'opinione che si tratti di un deposito profondo caratterizzato da scisti neri. Questi scisti esistono nelle serie scistose pure e negli interbanchi di quelle arenacee. Le sottofacies silicee o riducenti, a fauna rara o assente, confermano questa ipotesi. In questo ambiente, relativamente profondo, è giunto del materiale detritico, terrigeno o talassogeno, seguendo i meccanismi di slittamento di correnti dense e di acqua in movimento, descritti qui di seguito.

Alcune serie di flysch presentano chiaramente, nel loro insieme, carattere litorale o poco profondo (falde ultra-elvetiche) senza, tuttavia, comportare tracce di emersione.

Formazione. — La formazione del flysch obbedisce alle stesse leggi cui sono sottoposte le altre serie sedimentarie. L'ambiente di formazione conferisce però un carattere ben tipico alle serie. Esso si distingue per il modo di associazione e di successione delle litofacies nella stratonomia.

Il materiale sedimentario può avere origine terrigena e talassogena; entrambe queste fonti forniscono simultaneamente materiali sotto forma di elementi detritici di tutte le dimensioni, di colloidi e di componenti disciolti. La differenziazione avviene secondo le leggi ben note (Pustovalov 1952, Strachov, Vassoevich 1951, Ruchin 1959) e condurrà al deposito dei materiali in serie differenziate. Secondo la scuola sedimentologica sovietica, la differenziazione conduce al deposito per il doppio gioco del trasporto per mezzo delle correnti (gradazione idrodinamica degli elementi in base alle dimensioni) e della precipitazione biochimica. Ciò è schematizzato nella figura 1 A. L'autore di questo articolo fa intervenire un altro fattore, senza il quale non si

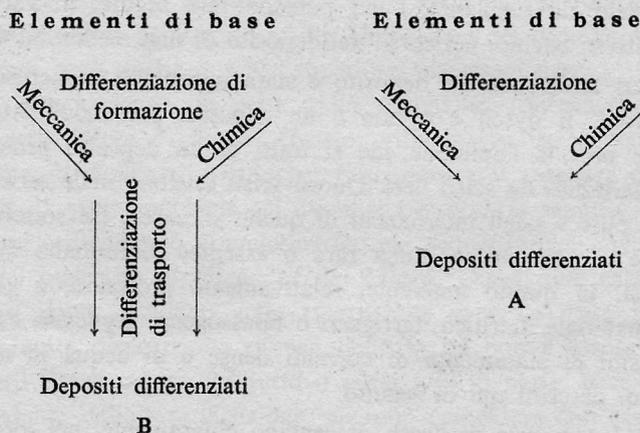


Fig. 1 - Le grandi fasi della differenziazione sedimentaria.

In A, lo schema è ispirato alla teoria di Pustovalov e alla scuola sovietica. In B, adattamento dello schema del flysch introducendo la variante della differenziazione di trasporto.

spiegherebbe il dualismo della stratificazione-fogliettatura da una parte (disposizione in banchi e interbanchi) e delle successioni in sequenze (« monostrati » e « polistrati » degli autori sovietici) dall'altra. (Lombard 1956). È questo il trasporto sul fondo, continuazione della differenziazione sedimentaria che si attua durante il trasporto dei sedimenti stessi (figura 1 B). Esso segue la elaborazione del materiale e precede il deposito ultimo del sedimento.

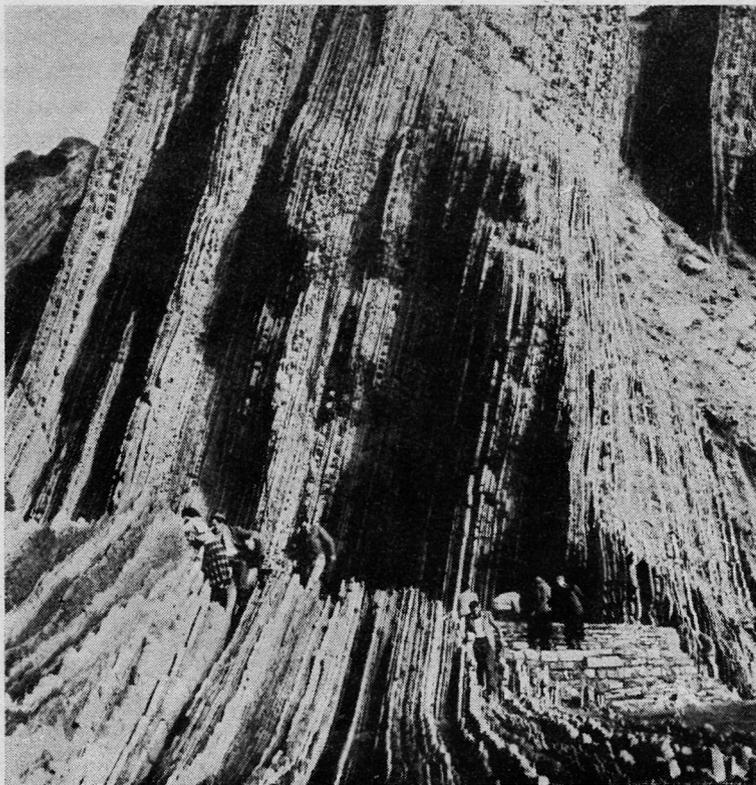


Fig. 2 - Serie di flysch paleoceno presso Zarauz (Guipuscoa, Spagna).

La serie è stratificata e fogliettata in fini sequenze arenaceo-marnoso-calcaree. Lo spessore dei banchi è notevolmente costante.

Questa gradazione ad opera del trasporto denso si attua sul fondo per tutto il materiale dotato di peso « ponderabile ». Gli elementi più grossi e medi progrediscono poco. Gli spostamenti dei fanghi avvengono mediante flusso di carattere laminare: è una somma di migrazioni piccolissime e locali, il cui insieme è lento ed adattato alla pendenza del fondo. Ci sono parimenti correnti di torbidità brusche e massive. Ognuno di questi modi agisce a seconda della quantità di sedimenti in riserva nella zona litorale di alimentazione, in funzione di sovraccarichi o di impulsi sismici e secondo la sua plasticità e la deformazione del pendio subsidente.

Questo insieme degli elementi ponderabili obbedisce, nella sua messa in posto, alle leggi della gravità in funzione della plasticità, della fluidità e dell'angolo di attrito interno del deposito. Massa instabile, essa si muove su un fondo marino inclinato, subsidente e mobile. È in seguito ad un tragitto, spesso lungo, che si compie una differenziazione che conduce alla elaborazione del « vydel » (elemento litologico definitivamente individualizzato), alla successione dei « vydel » (o termini litologici) in sequenze e ad un accumulo in strati. La ripartizione orizzontale delle facies dipende dagli stessi fattori.

È questo gruppo di fattori che dà ugualmente al flysch la sua stratificazione. Esso comprende:

- pesantezza, spostamento sul fondo, il quale ultimo si deforma nel corso dei movimenti orogenici;
- subsidenza del fondo;
- aumento di pendenza;
- messa in moto selettiva dei sedimenti;
- fogliettatura;
- stratificazione accentuata;
- scistosità primaria.

Per quanto riguarda i depositi ultrafini del precipitato biochimico e le false soluzioni, essi sono rari e si riducono a calcari e a silice che possono assimilarsi ad elementi ponderabili (A. Lombard, *op. cit.*). Essi finiscono effettivamente per depositarsi

con il tempo e con la distanza, a meno che non si ridisciolgano o non si combinino.

EVOLUZIONE E RITMICITÀ

Lo studio delle sequenze delle serie di flysch mostra il concatenamento dei termini litologici. Questo concatenamento riflette l'evoluzione successiva o talora simultanea dei fattori genetici e le loro interazioni. Gli elementi detritici predominano nel bilancio sedimentario e « respingono » quelli calcarei. I costituenti, qualunque sia il loro modo di formazione, sono sottoposti ai grandi fattori della tettonica e della gravità che regolano il loro trasporto e il loro deposito. Un esempio di doppia evoluzione simultanea è fornito dalla serie del flysch del Niensen, la cui base è scistosa e passa progressivamente ai calcari silicei successivamente organo-detritici. Sovrapposti a questo insieme, i detriti appaiono nel conglomerato di base, poi scompaiono progressivamente fino a cessare del tutto. Sussistono i soli scisti. Più in alto, provenienti da apporti successivi nella massa di fondo degli scisti e dei calcari, questi elementi detritici aumenteranno progressivamente di granulometria e di frequenza fino a costituire alcuni potenti gruppi di banchi conglomeratici che indicano la chiusura del bacino.

STRATIGRAFIA

La stratigrafia della serie del flysch deve essere studiata per ciascuna area tettonica. Si sa che è la facies del flysch che corona gli altri termini della intera serie. Nel dominio alpino, le serie ante flysch hanno facies diverse: epicontinentali, di bordo di geosinclinali, di copertura di cratone e di bacini liminari di diverso tipo.

In ciascuna area la sedimentazione del flysch inizia in un'epoca che varia localmente. Si era creduto di poter stabilire una regola secondo la quale, più un flysch era interno nell'orogene alpino e più cominciava presto. Recenti ricerche tendono a dimostrare che esistono numerose eccezioni a questo schema.

La sommità delle serie del flysch è difficile, se non impossibile, da identificare perchè è raramente conservata. Essa è stata

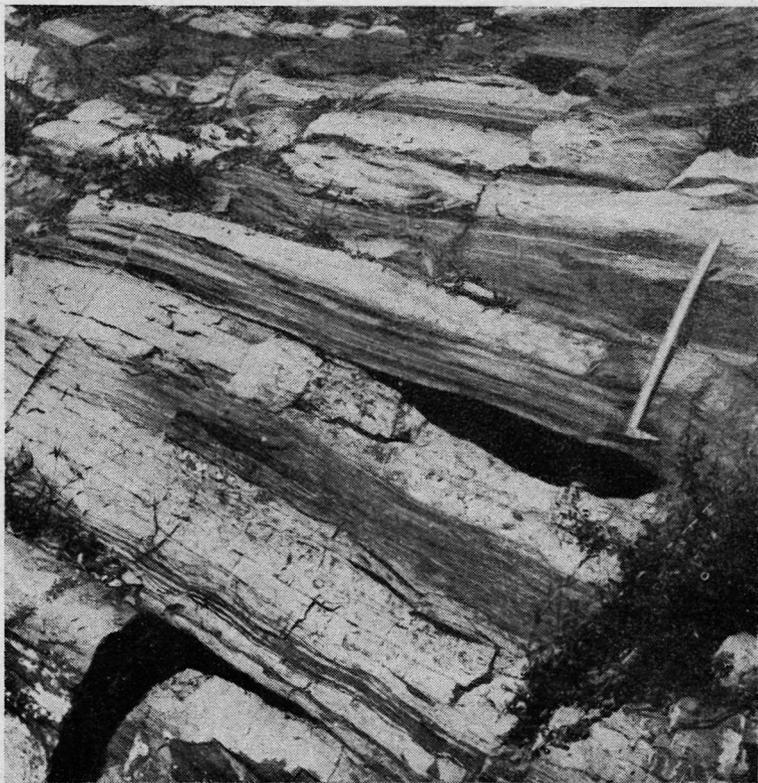


Fig. 3 - Flysch della falda del Niesen.

Serie calcareo-schistosa (Mestrichiano). L'ordinamento in sequenze ripetute è tipico. Alla base si osservano degli scisti finemente arenacei zonati, con una netta base piana. Gli scisti sono seguiti da calcari silicei, a passaggi argillosi aventi andamento ondulatorio. Tutto l'insieme traduce le condizioni di flussione laminare sul fondo al momento della messa in posto del materiale da cui sono costituite le sequenze.

erosa o laminata a causa dell'accavallamento delle falde superiori, sconvolto (« décoiffé ») o depositata in facies azoica e bannale. I numerosi ripiegamenti di queste formazioni scistose e

plastiche impediscono ugualmente di misurare lo spessore originale del deposito.

TETTONICA

L'appartenenza tettonica di una serie di flysch si stabilisce senza difficoltà allorchè tale serie segue in concordanza i terreni più antichi della sua unità strutturale. Per contro, le difficoltà sono molto grandi allorchè il flysch stesso è stato scollato dal suo basamento o carreggiata. Il problema del radicamento di questi lembi può, in tal caso, riuscire quasi insolubile. Uno dei metodi che si possono seguire per la soluzione di tale problema consiste nel raffrontare le facies, le faune e le età delle serie più interne rimaste allo stato di radici o di cicatrici. Può essere ugualmente utilizzato l'argomento geometrico. Infine, lo studio comparato delle serie, seguendo le pieghe e le falde nelle loro direzioni, può apportare utili soluzioni. È così che è stato possibile radicare diverse serie di flysch delle Prealpi Svizzere partendo da profili meno deformati delle Alpi Francesi.

La tavola riportata mostra, dall'alto verso il basso, le tre fasi attraverso le quali passano gli elementi litologici di una serie di flysch. C'è prima l'area, da cui ha origine il materiale, nella quale si svolge il primo stadio della fase di alimentazione. I sedimenti sono rimossi dagli agenti di trasporti e condotti prima verso i litorali, poi verso i luoghi di definitivo deposito dove si compirà la terza fase. I litorali costituiscono il luogo di deposito temporaneo per il materiale pesante.

In senso orizzontale, si noterà, sotto B, b e C, a, che la granulometria dei termini decresce da sinistra a destra, da una classe alla successiva, seguendo l'ordine della serie virtuale normale. Durante la fase di trasporto, questo materiale subisce non soltanto una gradazione granulometrica in funzione dei fattori del trasporto, ma si ordinerà ugualmente sfogliettandosi e stratificandosi. È questa fase che è molto accentuata nei mari del flysch e che dà al deposito il suo carattere particolare.

FORMAZIONE DEL FLYSCH

ALIMENTAZIONE	a) Aree	Dominio orogenico		Aree talassogene marginali, geosinclinali	
	b) Agenti	Ciclo dell'acqua. Erosione meccanica		Chimici, biochimici	
	c) Materiale litologico	Sedimenti non coerenti Classificazione granulometrica approssimata dal litorale verso il largo Il deposito è raramente definito in questa fase			
	d) Faune	Marine. Conservate in funzione della granulometria e del biochimismo			
PORTO	a) Comportamento meccanico	ELEMENTI PONDERABILI Sensibili soprattutto alla gravità e poco sensibili all'acqua		ELEMENTI IMPONDERABILI Poco sensibili alla gravità e solamente in masse. Sensibili soprattutto all'acqua	
	b) Gruppi litologici trasportati	<i>Psefiti</i>	<i>Psammiti</i>	<i>Peliti</i>	<i>Colloidi</i>

B - TRAS	c) Modo di spostamento	Scorrimenti massivi sul pendio rapidi, accidentali	Scorrimenti laminari e trazione sul pendio	Scorrimenti di semi-sospensioni in « fumées lourdes »	Sospensioni e flottazione solubile dopo cristallizzazione e precipitati biochimici fluenti
	d) Estensione	Locale	Regionale		Esteso-continua
	e) Ripartizione	Litorale	Dal litorale al « talus »	Dal litorale al ciglione (glacis)	Dal litorale a tutti i fondi
		Funzione della pendenza-rilievo-mobilità tettonica			Più indipendente dalla pendenza-rilievo. Sensibile alla batimetria
C - DEPOSITO	a) Materiale litologico depositato	Conglomerati poligenici	Arenarie e grovacche poligeniche	Aleuriti aronaceo scistose	Scisti argillosi Calcescisti Ardesie Diaspri Selce
	b) Stratificazione . . .	Banchi e interbanchi ben differenziati Spessori raramente grandi - Funzione della granulometria, trasporto, alimentazione Superfici a tracce, segni, orme, grinze Variazioni di spessore. Placchette e letti nelle aleuriti			
	c) Fogliettatura	Sono rappresentati tutti i casi possibili, ma essi variano secondo le provincie tettoniche. Certe serie ne sono sprovviste (« abs. de gradés b. », « sole marks », ecc.)			
	d) Ritmicità	Serie virtuali formate dai termini litologici enumerati in A, b Sequenze di tre ordini di grandezza. Complete o parziali. Sviluppo delle alternanze nei termini detritidi fini e nei calcari. Grado variabile di differenziazione dei litotermini e del loro numero nelle sequenze Solo le grandi sequenze possono essere negative Coincidenza frequente dei limiti di litotermini e dei limiti di stratificazione			