

II - PROBLEMI SETTORIALI RELATIVI ALLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA

1. DEPOSITI SEDIMENTARI

1.1. UNITÀ CARTOGRAFATE E SEZIONI STRATIGRAFICHE

1.1.1. Unità da ridefinire o istituire ex novo

1.1.2. Relazioni tra unità litostratigrafiche e stratigrafia sequenziale

1.1.3. Descrizione delle unità cartografate

1.2. RACCOMANDAZIONI PER IL RILEVAMENTO

1.2.1. Le successioni torbiditiche

1.2.2. Le successioni carbonatiche

1.2.3. Metodi di campionatura paleontologica

1.1. UNITÀ CARTOGRAFABILI E SEZIONI STRATIGRAFICHE

Nei punti seguenti si esamina l'applicazione dei criteri stratigrafici discussi precedentemente per il rilevamento delle successioni sedimentarie. In particolare vengono illustrati i criteri ai quali ci si dovrà attenere per la definizione e la descrizione delle unità stratigrafiche che verranno cartografate ed includono anche alcuni suggerimenti pratici per il loro rilevamento. In questa fase iniziale della nuova cartografia geologica italiana in scala 1:50.000, le normative sono necessariamente di tipo generale. Normative più specifiche ed ugualmente vincolanti dovranno essere approntate in tempi successivi, attraverso auspicabili coordinamenti nazionali, su almeno alcune delle fondamentali tematiche della geologia del sedimentario italiana, come quelle riguardanti soprattutto le successioni torbiditiche e carbonatiche. I progressi delle conoscenze stratigrafiche e sedimentologiche degli ultimi venti anni impongono infatti una sostanziale revisione dei criteri di studio di questi depositi affinché la nuova carta geologica abbia una sicura validità scientifica e possa quindi porsi anche come modello di riferimento per altri paesi che abbiano tipologie geologiche almeno parzialmente simili alle nostre. Nella situazione attuale, ciò si configura in pratica nell'uso di un approccio litostratigrafico integrato in tutti i casi possibili con criteri derivati dalla stratigrafia sequenziale e consimili.

Verranno mantenute nella nuova cartografia tutte quelle unità già esistenti la cui utilizzazione sia riconosciuta oggettivamente possibile e adatta alla nuova scala e la cui definizione sia conforme con quanto detto in precedenza. Qualora la definizione non sia conforme, l'unità verrà ridefinita in modo tale da ovviare l'inconveniente. Qualora si ravvisi invece che determinate unità già esistenti non siano utilizzabili per la nuova cartografia in ragione di una loro troppo generica e/o imprecisa definizione, esse verranno sostituite da nuove unità definite secondo quanto specificato nelle pagine 9 e 15. Sarà necessario comunque, prima di procedere a tutte queste operazioni, accertarsi che qualunque decisione possa essere presa essa sia stata valutata in sede di Commissione Italiana di Stratigrafia ai fini di evitare proliferazioni di unità locali e di cercare, al contrario, di rendere ogni situazione stratigrafica locale il più possibile inserita in un contesto ampiamente regionale. Nella pratica, ciò vuol dire che molte unità già esistenti dovranno essere probabilmente eliminate per far spazio a unità di carattere più regionale.

Data la tipologia particolarmente complessa di certe situazioni geologiche italiane, ciò può risultare difficile nei casi di unità stratigrafiche che, pur simili per quanto riguarda caratteri litologici ed età, appartengono ad unità tettoniche differenti. In questi casi l'utilizzazione del rango di supergruppo o gruppo può essere un criterio unificante per raggruppare unità di rango inferiore (formazioni e membri) che, pur in tutta probabilità deposte entro uno stesso comune bacino, già articolato in comparti diversi, hanno poi subito un'evoluzione tettonica e paleogeografica distinta.

Esempi pertinenti di tali tipologie geologiche sono ad esempio i flysch del Cretacico superiore e del Paleocene-Eocene dell'Appennino settentrionale e del Monferrato o certe unità oligo-mioceniche (p. es. Arenarie di Ranzano, Formazione di Bismantova, ecc.) comuni sia all'Appennino settentrionale che al Bacino Terziario Ligure-Piemontese.

Ai fini pratici, il solo punto d'incontro di tutte le informazioni stratigrafiche che si riferiscano a specifiche unità cartografabili o comunque importanti ai fini della comprensione geologica di un determinato problema è la *sezione stratigrafica*. Essa è definibile come l'oggetto cui fanno riferimento descrizioni, campionature e interpretazioni di ogni tipo (sedimentologico, paleontologico, petrografico, magnetostratigrafico, geochimico, ecc.). L'oggetto non può essere definito che attraverso la sua espressione più naturale e tradizionale, ossia attraverso litofacies e biofacies riconoscibili sul terreno, accuratamente misurate e descritte nei loro caratteri interni e nei loro limiti verticali. Quest'operazione conduce a costruire dei profili colonnari (o sezioni stratigrafiche) dove le varie facies e sequenze di facies

(vedi Glossario) vengono mostrate nella loro successione verticale e vengono graficamente espresse secondo i loro principali caratteri fisici e paleontologici. I caratteri accessori o graficamente non rappresentabili nella sezione per ragioni di scala vanno posti in legenda o in didascalia. Le facies, intese in questo senso, sono quasi sempre espresse da pacchi metrici o più raramente decametrici. I criteri sui quali si basano la descrizione e l'interpretazione delle facies e delle loro associazioni sono discussi in numerosissimi testi (p.es. Ricci Lucchi, 1978; Walker, 1984; Reading, 1986; Tucker e Wright, 1990; Bosellini, 1991). Lavori più specifici andranno consultati nei casi in cui ciò fosse necessario.

Le facies formano l'ossatura naturale di una determinata successione sedimentaria cui viene attribuito il significato stratigrafico di "unità litostratigrafica" e quest'ultima non può ritenersi adeguatamente descritta se non attraverso la descrizione delle sue facies componenti.

Le facies, nella maggior parte dei casi, si organizzano verticalmente secondo schemi ciclici sviluppati a varie scale gerarchiche. Questa ciclicità forma la base di branche della moderna stratigrafia (stratigrafia sequenziale, ciclostratigrafia) che però si basano ancora su modellistiche spesso molto discusse. Tuttavia, indipendentemente da queste interpretazioni che potranno o meno essere accennate o suggerite la ciclicità esiste ed è parte della descrizione di una determinata unità.

Per evitare ambiguità, l'identificazione, descrizione e misurazione delle facies rappresentano una normale e necessaria procedura stratigrafica. L'analisi di queste facies ai fini sedimentologici o stratigrafico sequenziali è da considerarsi un passo ulteriore che può, a volte, richiedere l'intervento di specialisti.

Le facies da intendersi ai fini di questa guida sono dunque pacchi di strati relativamente simili, sviluppati su spessori comunemente metrici e caratterizzati da litologie, tessitura, geometria e spessori degli strati, strutture deposizionali ed erosive e caratteri paleontologici specifici, diversi da quelli osservati nelle facies sopra e sottostanti. I caratteri che definiscono le facies sono stati brevemente discussi in altra parte della guida.

Una volta che l'impalcatura o ossatura di una determinata unità sia stata definita attraverso un profilo colonnare che mostri la successione delle varie facies, sarà poi possibile procedere, a seconda degli scopi, a campionature significative per ogni tipo di analisi. Tutti i campioni raccolti dovranno essere ubicati con precisione sul profilo colonnare fornendo così un punto di riferimento circa il significato del campione stesso, ma anche per ulteriori campionature.

Scala verticale delle sezioni e grafica delle stesse saranno concordate caso per caso, ma dovranno comunque essere più omogenee possibile soprattutto nell'ambito di fogli contigui. Gran parte dell'informatizzazione dei dati stratigrafici dovrà necessariamente essere ancorata a sezioni stratigrafiche. Ne deriva che un grande sforzo di coordinamento dovrà essere fatto, anche a livello nazionale, in direzione di una necessaria omogeneità dei dati da informatizzare.

Sono ritenuti quindi indispensabili, per la corretta e moderna descrizione di ciascuna delle unità cartografate, i seguenti punti (si veda anche la scheda riportata a pagina 9):

1 - dettagliata descrizione, attraverso una o più sezioni stratigrafiche, delle seguenti caratteristiche:

- (a) facies principali definite sulla base di tessitura e composizione, spessore e geometria degli strati, strutture fisiche ed organiche (fossili e tracce fossili), eventuali direzioni di paleocorrenti ed altri caratteri ritenuti significativi;
- (b) analisi biostratigrafica e tafonomica dei fossili meso- e macroscopici;
- (c) principali variazioni di facies (come sopra descritte) in senso verticale e laterale, con particolare riferimento all'eventuale identificazione di caratteri ciclici sviluppati a vari ordini di scala fisica.

Sulla base di osservazioni estese a tutta l'area rilevata è inoltre indispensabile giungere ad un'interpretazione paleoambientale d'origine generale per definire entro quali delle seguenti grandi associazioni di facies si inseriscano i depositi dell'unità esaminata: (i) depositi continentali, (ii) depositi transizionali, (iii) depositi marini costieri, (iv) depositi di piattaforma,

(v) depositi di transizione piattaforma-bacino e (vi) depositi bacinali.

Le associazioni suddette sono soltanto indicative e potranno essere ridefinite e meglio precisate, caso per caso, sulla base della situazione locale e del tipo di sedimenti e fossili esaminati.

Come è naturale, è parte integrante della descrizione di un'unità, la dettagliata descrizione biostratigrafica al fine dell'inquadramento cronostratigrafico.

2 - la precisa definizione dei limiti verticali e laterali;

3 - spessore e sue variazioni areali.

1.1.1. Unità da ridefinire o istituire ex novo

Valgono per questo punto i criteri già descritti nella parte I di questa guida. È qui reiterata la necessità dell'inquadramento regionale delle unità considerate e della valutazione, in tale ambito, di ridefinizioni e/o nuove istituzioni.

1.1.2. Relazioni tra unità litostratigrafiche e stratigrafia sequenziale

Nella parte I abbiamo discusso le relazioni tra significato ed uso dei vari tipi di unità stratigrafiche. Qui ci preme di sottolineare che la stratigrafia sequenziale, pur se ancora informale, rappresenta uno strumento di grandissima importanza per una più moderna e significativa interpretazione delle relazioni spazio-temporali che intercorrono tra unità litostratigrafiche o che sono proprie alla stessa stratigrafia sequenziale. E quindi inconcepibile che una moderna cartografia geologica possa prescindere almeno dai concetti principali di questa nuova classificazione stratigrafica. Recependo questa necessità, la presente Guida include al riguardo i seguenti punti:

1 - Ove possibile, i limiti delle unità litostratigrafiche devono coincidere con superfici di inconformità (*unconformity surfaces*) e di massima ingressione marina o di brusco innalzamento del livello di base (*maximum flooding surface*).

2 - Un'attenzione particolare deve essere rivolta all'analisi delle facies per poter individuare, ove possibile, le tendenze trasgressive o regressive della sedimentazione all'interno dell'unità esaminata e nei rapporti tra questa e quelle che la delimitano verticalmente e lateralmente.

Quanto sopra ha per ora significato quasi esclusivamente per successioni continentali, marine costiere e marine di piattaforma. Per i depositi torbiditici vedasi la parte finale introduttiva.

1.1.3. Descrizione delle unità cartografabili

Anche se si è precedentemente sottolineata la necessità di inquadrare tutte le unità litostratigrafiche, almeno dove possibile, in schemi interpretativi paleoambientali, è evidente che ciò non deve configurarsi come una descrizione. In legenda ogni unità verrà quindi descritta per i caratteri che la contraddistinguono e successivamente interpretata, sempre dove possibile, in termini paleo-ambientali. La separazione tra fatti ed interpretazione di questi deve essere chiara in ogni legenda. Non è accettabile una descrizione che inizi, ad esempio, con "arenarie litorali". La descrizione è fatta attraverso litologia, tessitura e composizione, caratteri degli strati, contenuto paleontologico, etc. e solo alla fine, sotto la voce interpretazione (sempre inclusa in legenda), questi dati saranno interpretati come caratteristici di "arenarie litorali". Lo stesso vale per tutti gli altri tipi di sedimenti. L'interpretazione ambientale (p. es. sedimenti di spiaggia, sedimenti fluvio-deltizi, sedimenti di piattaforma) o in termini di processi (depositi torbiditici o di flussi gravitativi in senso più generale) è utile e necessaria, quando possibile, ma non deve essere confusa con una descrizione.

Nonostante queste necessarie cautele, le conoscenze attuali su facies, processi ed ambienti consentono nella maggior parte dei casi attribuzioni ambientali relativamente precise.

1.2. RACCOMANDAZIONI PER IL RILEVAMENTO

Le seguenti raccomandazioni non riguardano direttamente il come rilevare, che è in certa misura sempre strettamente soggettivo, ma il modo di impostare il problema del rilevamento che soggettivo lo è meno in quanto richiede un certo numero di operazioni iniziali che hanno in tutta probabilità una validità generale. Le tre fasi da noi ritenute fondamentali sono qui di seguito brevemente riassunte.

- 1 - Inquadramento regionale dei problemi stratigrafici relativi al foglio considerato.*
- 2 - Iniziare il rilevamento vero e proprio soltanto dopo aver definito con precisione le unità da cartografare ed averle descritte almeno in via approssimata nei loro caratteri e nelle variazioni latero-verticali di questi attraverso la misurazione di un sufficiente numero di sezioni stratigrafiche o, dove ciò non sia possibile, attraverso osservazioni su un'area sufficientemente estesa.*
- 3 - Documentarsi in ogni caso, dopo la fase iniziale di riconoscimento, sui modelli sedimentari disponibili in letteratura circa il tipo di sedimenti da rilevare.*

I caratteri dei limiti e le variazioni latero-verticali dei corpi sedimentari sono spesso controllati dal tipo di ambiente in cui tali corpi si sono depositi. Una conoscenza di quanto già noto in letteratura non offre certo la chiave per il rilevamento locale ma fornisce criteri e linee generali che possono semplificare e rendere meglio comprensibile la cartografia di molti corpi sedimentari. Poiché la nuova carta geologica deve essere anche un documento scientifico questo punto è essenziale al raggiungimento dello scopo. Il rilevamento geologico non è e non potrà mai essere soltanto oggettivo. Esso diventa meno soggettivo e più scientifico nella misura in cui si capiscono anche, in una certa logica deposizionale, le relazioni genetiche, spazio-temporali, tra corpi rocciosi. Ciò non vale soltanto per le successioni sedimentarie ma per tutti i tipi di rocce.

E' opportuno sottolineare che questa Guida, anche per quanto riguarda il rilevamento delle successioni sedimentarie rappresenta un documento che, per necessità di cose, deve intendersi come transitorio.

I punti fermi riguardano soltanto le classiche procedure che stanno alla base di un uso corretto della litostratigrafia e che garantiscono una certa omogeneità di carte, legende e note illustrative. La stretta osservanza di queste procedure, in parte disattesa nel precedente progetto nazionale di cartografia geologica in scala 1:100.000, consentirà in ogni caso un sensibile progresso rispetto allo stesso. Un ulteriore progresso sarà possibile, in termini di omogeneità dei documenti e di una loro conseguente più facile lettura, se si eviterà un'eccessiva proliferazione di unità stratigrafiche attraverso un'attenta valutazione dei contesti geologici e stratigrafici regionali.

Nella prima parte questo documento analizza estesamente, i vari tipi di classificazione stratigrafica, da quelli di uso ormai consolidato e codificato da guide e codici stratigrafici nazionali ed internazionali a quelli più recenti, di utilizzazione immediata più problematica. Tra questi ultimi viene in particolare discussa la classificazione proposta dalla stratigrafia sequenziale, certamente la più moderna concettualmente e con un evidente grande potenziale anche per quanto riguarda una sua futura applicazione pratica. In tutta probabilità la futura stratigrafia fisica sarà un compromesso, concettuale ed operativo, tra litostratigrafia e stratigrafia sequenziale. Questa sembra ormai essere l'irreversibile tendenza a livello internazionale anche per il legame che la stratigrafia sequenziale permette di stabilire con la sismica a riflessione, da cui è sostanzialmente derivata, e quindi con tutta l'enorme quantità di dati stratigrafici che il sottosuolo può fornire. Inoltre, se integrata con dati biostratigrafici accurati, la stratigrafia sequenziale, che individua unità di natura ciclostratigrafica, consente il legame con cronologiche relative, quali le curve di variazione degli onlap costieri (Vail *et alii*,

1977) e le curve eustatiche (Haq *et alii*, 1987) ormai praticamente formalizzate per un lungo intervallo di tempo geologico.

Se in effetti, come qui si ritiene, il nuovo progetto nazionale di cartografia geologica alla scala 1:50.000 intende produrre carte che siano anche, e soprattutto, documenti scientifici e quindi di riferimento non solo a livello nazionale, è inevitabile che almeno parte di quanto sopra sia recepito nello spirito del progetto per evitare che quest'ultimo si ponga obiettivi già praticamente obsoleti sin dall'inizio.

La Commissione conclude quindi che affinché il progetto abbia una sua sicura identità scientifica, lo studio ed il rilevamento delle successioni sedimentarie debbano essere attentamente valutati in questa nuova ottica.

Alla base della nuova stratigrafia ormai emergente a livello internazionale sta un accurato studio delle facies sedimentarie in termini di ambienti e processi e delle relazioni spazio-temporali di queste facies in termini di processi ciclici a varie scale e di fenomeni di discontinuità. Questa sembra la sola possibile lettura in chiave moderna delle successioni sedimentarie ed il nesso obbligato tra stratigrafia fisica tradizionale (litostratigrafia) ed unità ciclostratigrafiche, tra le quali la stratigrafia sequenziale occupa un'evidente posizione di preminenza.

La Commissione individua almeno due tematiche fondamentali per la geologia del sedimentario italiana che dovranno essere affrontate nell'ottica di cui sopra nel corso del progetto. Queste due tematiche riguardano le successioni torbiditiche (*flysch* l.s.) e carbonatiche che rappresentano da sole gran parte delle rocce sedimentarie del nostro paese. Per entrambi queste associazioni di sedimenti, la Commissione raccomanda l'istituzione di gruppi di coordinamento a livello nazionale che garantiscano la scientificità richiesta dall'importanza del problema. Se correttamente impostata, questa operazione si potrà tradurre in normative specifiche per lo studio ed il rilevamento di questi tipi di sedimenti che diverranno un sicuro riferimento anche a livello internazionale.

Sono di seguito brevemente accennati i problemi riguardanti queste due tematiche.

1.2.1. Le successioni torbiditiche

Definizioni - Per molto tempo ristretto ai soli strati arenaceo-pelitici gradati caratterizzati dalla sequenza di Bouma, il termine di "torbiditi" è oggi quasi da tutti inteso in un'accezione più ampia, per definire depositi molto variabili come caratteri tessiturali e composizionali che sono risedimentati in settori generalmente profondi (marini o lacustri) di un bacino attraverso flussi gravitativi (colate di detrito, correnti di torbida ad alta, media o bassa concentrazione di sedimento). Per flussi gravitativi (*sediment gravity flows* o *gravity flows*) si intendono flussi che scorrono, per effetto della gravità, in ragione di un eccesso di densità rispetto al fluido circostante. L'eccesso di densità è dato dal sedimento trasportato in sospensione dal flusso (in realtà il fenomeno del sostentamento del sedimento entro i vari tipi di flussi è assai complesso).

I tipi principali di facies - Le facies torbiditiche includono sedimenti che vanno da breccie e conglomerati in strati decametrici ed a struttura interna caotica sino a peliti in sottilissimi strati gradati. Associati a queste facies torbiditiche s.s. possono essere comuni altri tipi di facies perlopiù ristretti a livelli più o meno caotici prodotti da scivolamenti sottomarini in massa (fenomeni di *creeping*, *slumping* e *sliding*) e ad interstrati pelitici dovuti a sedimentazione emipelagica "normale". Per una dettagliata discussione di queste facies si rimanda allo schema di Mutti e Ricci Lucchi (1972) ed a successivi suoi aggiornamenti, completamenti e modifiche (vedasi in particolare l'eccellente testo di Pickering *et alii*, 1989). Nuove proposte di classificazione delle facies torbiditiche sono state presentate da Ghibaudo e Vanz (1987) e Mutti (1992). La prima proposta riguarda una classificazione essenzialmente descrittiva che può essere particolarmente utile ai fini di un'informatizzazione dei dati. La seconda proposta è

invece principalmente basata su criteri genetici e può trovare una sua applicazione ai fini di analisi di facies più specialistiche e mirate. I criteri che comunque vanno usati per definire le facies torbiditiche, indipendentemente da schemi e modelli esistenti, devono necessariamente riferirsi a: a) litologia, tessitura e composizione; b) rapporti percentuali tra le litologie principali (p.es. rapporti arenaria/pelite); c) spessore e geometria degli strati; d) strutture interne agli strati e loro organizzazione verticale; e) variazioni granulometriche principali all'interno degli strati; f) strutture erosive alla base degli strati; g) caratteri paleontologici (fossili e tracce fossili); h) caratteri specifici e/o accessori.

Poiché è sempre più evidente che depositi da flussi gravitativi sono comuni anche in ambienti deposizionali non torbiditici (p.es. certe conoidi alluvionali, delta-conoidi marine e lacustri, certi ambienti di piattaforma dominati da processi di tempesta, ecc.) e che, se presi individualmente, strati e facies prodotti da questi flussi sono praticamente indistinguibili da strati e facies torbiditiche, è qui raccomandato che il carattere torbiditico di una determinata unità stratigrafica sia anche basato sui due seguenti criteri: a) mancanza di strutture sedimentarie e di eventuali facies legate a processi di ambienti continentali (p.es. fanghi disseccati, impronte di radici, ecc.) o di mare basso (strutture da moto ondoso e da correnti di marea); b) caratteri paleoecologici delle associazioni faunistiche. In altre parole, tranne casi molto chiari, la natura torbiditica di un'unità stratigrafica va accertata anche attraverso l'analisi del contesto generale.

Sistemi deposizionali principali: loro caratteri e problematiche - I depositi torbiditici sono caratteristici di ambienti di scarpata o di base-scarpata ad eccezione di strati formati attraverso flussi gravitativi di grande volume che possono estendersi su tutto il bacino o su parti considerevoli dello stesso.

Negli ambienti di normale scarpata deposizionale si rinvengono di solito torbiditi a stratificazione sottile ed a granulometria molto fine (soprattutto facies pelitiche) normalmente sviluppate come equivalenti profondi di sistemi deposizionali fluvio-deltizii. Questo tipo di sedimentazione torbiditica è comunemente espressa dai cosiddetti "*channel-levee systems*".

Un più complesso tipo di sedimentazione caratterizza le scarpate di bacini tettonicamente attivi dove ingenti accumuli di facies torbiditiche arenacee o arenaceo-conglomeratiche possono essere intrappolati in depressioni locali d'origine strutturale. E' questo il caso di molti bacini di rift, di bacini epi- e peri-suturali e di certe scarpate di bacini ubicati su margini divergenti caratterizzate da intensi processi allocinetici.

La tipica deposizione torbiditica di base-scarpata si articola in tre principali elementi che includono: (1) grandi e profonde nicchie di frane sottomarine intagliate sul margine della piattaforma e che si estendono, svasandosi, verso il bacino; (2) canali più o meno ben sviluppati, ed infine, più a valle, (3) i cosiddetti lobi deposizionali. Questi tre elementi, dei quali il primo è erosivo, caratterizzano gran parte dei sistemi deposizionali torbiditici ricchi in facies arenacee. L'elemento erosivo, che spesso è erroneamente definito "canyon", è in realtà la vera area-sorgente delle arenarie torbiditiche che si ritrovano più a valle. Esso rappresenta una vacuità erosiva (vedi glossario sotto la voce: inconformità) prodotta dalla risedimentazione di facies di piattaforma in depositi torbiditici. Il suo riempimento può essere di tipo svariato, ma è generalmente rappresentato da facies pelitiche spesso ad assetto caotico. A valle ed ai margini dei lobi arenacei deposizionali, in molti bacini si possono sviluppare depositi di piana sottomarina che possono essere trattati sia come un elemento dello stesso sistema o come sistema indipendente.

Nonostante quest'apparentemente semplice schematizzazione, i sistemi torbiditici possono differire grandemente tra di loro in termini di dimensioni, geometria esterna, facies ed associazioni di facies e geometria e relazioni stratigrafiche latero-verticali dei corpi arenacei. I fattori che controllano questa grande variabilità di caratteri sono principalmente il tipo di contesto geodinamico entro il quale si sviluppa il bacino, il tipo di crosta, il contesto tettonico

regionale e locale e l'eustatismo. Tutti questi fattori, spesso interagendo tra loro, determinano forma, dimensione e profondità del bacino, caratteristiche composizionali e tessiturali del sedimento ed infine volume e frequenza dei flussi gravitativi (cfr., Normark *et alii*, 1983, 1984; Bouma *et alii*, 1985; Mutti e Normark, 1987; Pickering *et alii*, 1989; Weimer e Link, 1991). Da tutto ciò risulta la difficoltà di inquadrare i sistemi torbiditici entro modelli generali, come quelli, ad esempio, delle conoidi sottomarine. Questi modelli, pur mantenendo un proprio valore indipendentemente anche dal loro significato storico, devono essere rivisitati con estrema attenzione, tenendo conto di tutte le problematiche emerse in questi ultimi venti anni.

In bacini epi- e peri-suturali e di rift la sedimentazione torbiditica sembra soprattutto controllata dall'evoluzione tettonica dei margini dei bacini stessi. In margini divergenti, l'eustatismo può avere un ruolo determinante, innescando processi di risedimentazione durante periodi di relativo stazionamento basso del livello marino a causa degli alti tassi di sedimentazione sulle zone di piattaforma. Infine, in molti bacini oceanici, soprattutto su margini continentali divergenti, correnti di fondo d'origine termoalina possono rimaneggiare, modificare ed erodere anche completamente degli originari sistemi torbiditici dando luogo a nuovi sistemi deposizionali ancora virtualmente sconosciuti nei loro caratteri geometrici e di facies. Il termine generale di "*contourites*" descrive questa famiglia di depositi profondi (vedansi Pickering *et alii*, 1989; Mutti e Normark, 1991; Vail *et alii*, 1991; Mutti, 1992).

Consigli pratici per un'iniziale fase di rilevamento di successioni torbiditiche - Ai fini pratici e con riferimento specifico alle tipologie dei bacini italiani, le torbiditi possono essere inizialmente rilevate secondo il semplice criterio del rapporto arenaria/pelite. Si possono così riconoscere unità prevalentemente arenacee, arenaceo-pelitiche, pelitico-arenacee e pelitiche (cfr. Mutti e Ricci Lucchi, 1972). Per quanto riguarda ad esempio l'Appennino, buona parte delle classiche unità stratigrafiche costituite da torbiditi possono facilmente essere suddivisibili in unità minori attraverso questi caratteri. Il significato di queste nuove unità (soprattutto a livello gerarchico di membri) e della loro organizzazione in cicli sedimentari a grande scala è la chiave d'ingresso ad una più moderna e significativa comprensione di questi depositi. Una loro descrizione in termini di facies ed associazioni di facies è necessaria e fondamentale. Molti lavori apparsi negli ultimi cinque anni possono essere di utile orientamento a questo proposito (vedansi riferimenti già citati sopra).

A livello di cartografia geologica dovranno essere evidenziate almeno le principali unità arenacee (e di conseguenza quelle più pelitiche che le separano) all'interno di una formazione. La scelta ed il numero di queste unità sono ovviamente funzione della chiarezza con la quale esse sono espresse nelle locali successioni e della qualità degli affioramenti, sia in senso verticale sia orizzontale. In certi casi particolarmente favorevoli, il lavoro potrà essere facilitato dalla presenza di strati-guida; in altri, meno favorevoli, queste suddivisioni dettagliate potranno essere messe in evidenza e cartografate soltanto dopo la misurazione di dettagliate sezioni stratigrafico-sedimentologiche e la loro correlazione. In molti casi, può essere di grande aiuto, a questo proposito, l'analisi fotogeologica che può permettere di tracciare determinate unità sulla base del loro maggiore o minore contenuto in arenaria e del tipo di stratificazione, massiccia o meno. E' tuttavia questo l'unico approccio che pare attualmente percorribile per evitare di ripresentare carte che riprendano, senza ulteriori suddivisioni, le stesse unità litostratigrafiche della vecchia cartografia alla scala 1:100.000.

Il fondamentale problema da affrontare è quello di riconoscere il significato locale e/o regionale che permetta di comprendere l'effetto della deformazione tettonica sinsedimentaria entro i bacini torbiditici ed un'eventuale relazione tra questo controllo tettonico e le cicliche variazioni eustatiche di vario ordine (vedi glossario sotto voce "ciclicità sedimentaria"). Nella terminologia introdotta da Mutti e Normark (1987), si suggerisce di cercare di riconoscere, entro le successioni torbiditiche, unità caratterizzate da rango gerarchico differente. Questi autori riconoscono, in ordine di scala fisica e temporale decrescente, "*turbidite complexes*",

"*turbidite systems*", "*turbidite stages*" e "*turbidite sub-stages*". In termini litostratigrafici, i primi potrebbero corrispondere a gruppi, i secondi a formazioni ed i terzi a membri. I quarti rientrano nella scala fisica delle associazioni e delle sequenze di facies e possono essere cartografati soltanto alla scala 1:10.000 (particolarmente su foto aeree) ove fosse opportuno.

Affinchè si possa comprendere al meglio il significato delle successioni torbiditiche e quindi cartografarle in maniera scientificamente adeguata è indispensabile che, oltre ad un inquadramento concettuale che possa fungere da guida nella fase iniziale, si disponga di dati precisi circa i seguenti punti:

1 - Geometria delle unità cartografate, soprattutto nel caso di unità arenacee o arenaceo-conglomeratiche, espressa in termini semplici di tabularità o lenticolarità.

2 - Tipo di contatti e relazioni stratigrafiche verticali tra unità arenacee ed unità sottostanti: erosivi, netti e transizionali i primi; conformi e inconformi, angolarmente discordanti o concordanti le seconde. Molto spesso il carattere discordante e/o erosivo di un'unità torbiditica arenacea rispetto alle unità sottostanti risulta evidente (e quindi cartografabile come tale) soltanto dopo la minuziosa analisi stratigrafico-sedimentologica della stessa unità anche su aree limitrofe a quella rilevata. Molti contatti transizionali tra unità arenacee e sottostanti unità pelitiche possono rappresentare, soprattutto in sistemi deposizionali relativamente piccoli e confinati in depressioni di origine strutturale, delle superfici di leggera discordanza angolare (relazioni di *onlap*; vedi glossario). Nelle zone depresse, o assiali, i corpi arenacei o arenaceo-conglomeratici hanno la tendenza a possedere limiti basali netti e talora erosivi; via via che ci si sposta verso i margini di queste depressioni i contatti assumono caratteri sempre più transizionali sino all'eventuale chiusura del corpo arenaceo considerato.

3 - Definire, anche in termini generali, se i corpi arenacei a geometria lenticolare abbiano i caratteri distintivi di riempimento di canali di transito, misti o deposizionali (cfr. Mutti e Normark, 1987, 1991), rappresentino il semplice riempimento di depressioni strutturali o se, infine, risultino dalla combinazione delle due situazioni precedenti.

4 - Cercare di individuare gli elementi erosivi a grande scala, e quindi cartografabili, che fanno parte integrante dei sistemi deposizionali torbiditici. Molti di questi elementi sono stati rimossi per successiva erosione subaerea dai margini sollevati di molti bacini. In certi casi, tuttavia, essi sono preservati, in modo particolare in bacini relativamente piccoli.

Qualora per esigenze particolari fossero necessari lavori di maggior dettaglio indirizzati soprattutto a comprendere gli originari rapporti stratigrafici e deposizionali tra unità torbiditiche apparentemente molto simili tra loro (è questo il caso ad esempio dei riempimenti torbiditici delle avanfosse oligo-mioceniche dell'Appennino settentrionale o dei flysch calcarei, cretacei e palcogenici, delle Liguridi), sarà opportuno procedere ad analisi di facies e stratigrafiche più mirate per le quali il rilevatore dovrà, almeno inizialmente, richiedere l'aiuto di specialisti. Queste analisi, necessariamente coordinate almeno a scala regionale, dovranno portare all'individuazione di criteri sedimentologici e stratigrafici che possano essere utilizzati a livello descrittivo per definire i vari tipi di unità studiate e, a livello interpretativo, per meglio comprendere gli originari rapporti deposizionali e stratigrafici intercorrenti tra le medesime. Queste problematiche, che potrebbero rivelarsi nel tempo di interesse fondamentale per la comprensione della geologia del territorio italiano, dovranno essere affrontate sin dall'inizio in un'ottica comparativa e quindi attraverso studi di tipo quantitativo che possano portare in breve tempo a una significativa banca dati al riguardo.

Torbiditi e stratigrafia sequenziale - Come è noto, i modelli di stratigrafia sismica e sequenziale sono essenzialmente derivati da bacini ubicati in margini continentali divergenti e maturi o da bacini cratonici e intracratonici. E' ormai evidente, attraverso i dati forniti dalla letteratura, che i sistemi deposizionali torbiditici dei bacini di cui sopra, quando vi siano presenti, sono sostanzialmente diversi da quelli sviluppati invece in bacini associati a zone di sutura crostale (vedansi in particolare i bacini epi- e perisuturali). I primi sviluppano geometrie,

stadi di crescita e tipi di facies che possono essere spesso sostanzialmente controllati dall'azione di correnti di fondo ed apparentemente subiscono un forte controllo eustatico anche a livello di ciclicità ad alta frequenza. I secondi non mostrano in generale tracce importanti dell'azione di correnti di fondo e subiscono un controllo tettonico più o meno spinto in funzione del contesto in cui si sviluppano. Questo controllo viene esercitato a livello di forma e dimensione iniziali del bacino, delle loro modificazioni nel corso della sedimentazione e infine sull'origine dei sistemi stessi. Quest'ultima sembra spesso risultare da complesse e per ora mal conosciute interazioni tra eustatismo e deformazione. Esistono tuttavia casi accertati in cui sistemi torbiditici sono stati originati da fenomeni di destabilizzazione a grande scala e conseguente risedimentazione di depositi precedenti, non ancora o poco litificati, ubicati sui margini del bacino e coinvolti in processi deformativi (questi concetti erano già presenti nei lavori iniziali di C.I. Migliorini!). E' qui il caso di ricordare che fenomeni di risedimentazione avvenuti durante il Quaternario su margini divergenti a almeno in certi casi innescati da terremoti hanno coinvolto volumi sedimentari enormi (fino a 5000 km³) in tempi geologicamente quasi istantanei (migliaia di anni). Evidentemente, fenomeni di questo tipo devono essere molto più frequenti e probabilmente svilupparsi anche a scala maggiore in bacini sottoposti a deformazione tettonica. Tutto ciò pone problemi ovvii sia per quanto riguarda il significato delle ciclicità delle successioni torbiditiche, sia per la possibilità di risolvere situazioni di questo genere attraverso la biostratigrafia.

Quanto sopra ha lo scopo di mettere in guardia nei confronti di un'eventuale applicazione acritica di concetti di stratigrafia sequenziale alle successioni torbiditiche. I cicli eustatici hanno certamente in qualche modo controllato anche le successioni torbiditiche di bacini tettonicamente attivi: la loro espressione fisica in tali successioni deve tuttavia essere necessariamente filtrata attraverso una chiara comprensione del controllo tettonico locale e regionale. E' questo uno dei temi scientificamente più difficili che dovrà essere per forza di cose affrontato nel presente progetto attraverso una stretta collaborazione tra stratigrafia fisica, biostratigrafia, petrografia del sedimentario, tettonica sinsedimentaria e geologia strutturale.

1.2.2. Le successioni carbonatiche

Nel nuovo progetto di cartografia geologica nazionale sarebbe auspicabile suddividere e rappresentare le successioni carbonatiche secondo unità litostratigrafiche che siano inquadrabili senza eccessive difficoltà all'interno di alcune associazioni di facies caratteristiche degli ambienti deposizionali carbonatici e quindi più facilmente utilizzabili ai fini di una possibile interpretazione in chiave stratigrafico-sequenziale a vari ordini di scala. Saranno qui di seguito descritte le più comuni successioni carbonatiche, elencate da terra verso mare, e soprattutto i principali caratteri distintivi che ne permettono il riconoscimento sul terreno.

PIATTAFORMA PERITIDALE - Con questo termine si intende un'associazione di facies a carattere ciclico corrispondente al sistema deposizionale rappresentato da piane tidali associate alle lagune e alle baie antistanti.

Geometrie. I carbonati peritidali costituiscono corpi tabulari, talora assai potenti e arealmente estesi, dalla netta e regolare stratificazione sviluppata su spessori metrici.

Litofacies. Si tratta di litotipi generalmente fangosi (*mudstone*, *wackestone* e *packstone*) organizzati in classici cicli a batimetria decrescente dal basso verso l'alto; questi cicli di facies hanno spessore variabile da pochi decimetri a qualche metro. Ogni ciclo è caratterizzato dalla ordinata sovrapposizione di facies sub-, inter- e sopratidali. La facies subtidale è rappresentata da micriti a bioclasti e peloidi, bioturbate; la facies inter- sopratidale è invece caratterizzata da livelli laminati, spesso stromatolitici, contenenti la vasta gamma di strutture e depositi tipici delle piane sopratidali: *bird-eyes*, poligoni da disseccamento, cementi vadosi, strati da tempesta fangosi. L'ultima fase regressiva del ciclo può essere rappresentata da livelli centimetrici di

argilliti policrome e/o breccie pisolitiche testimonianti la rielaborazione in ambiente subaereo delle sottostanti unità. Se la permanenza in ambiente subaereo è stata prolungata (qualche migliaio di anni), si sviluppano paleosuoli a terra rossa e vistose deformazioni degli strati (*tepees* a vari stadi di sviluppo) che possono coinvolgere gli strati sottostanti per più di un metro di spessore.

Il colore di questi depositi peritidali è generalmente chiaro; non mancano tuttavia esempi di depositi peritidali di ambiente ristretto a colorazione scura.

I depositi peritidali sono frequentemente dolomitizzati (dolomitizzazione precoce dei livelli inter-sopratidali); essi possono passare lateralmente ad associazioni di facies miste carbonatico terrigene e/o evaporitiche (in funzione del clima) di ambienti iper- o iposalini. Il riconoscimento delle associazioni di facies di tipo evaporitico (*sabkha*) è facilitato dal rinvenimento di evaporiti ancora conservate, di minerali e cavità pseudomorfi di evaporiti, di intercalazioni di rocce tipo carniole, e da breccie di collasso associate a dolomie prive di strutture.

Fossili. Sono essenzialmente confinati alla porzione subtidale dei cicli peritidali. Essi sono rappresentati da organismi di mare sottile poco differenziati: associazioni oligotipiche ad Alghe, Foraminiferi, Ostracodi, Lamellibranchi e Gasteropodi.

Esempi. Le piattaforme carbonatiche peritidali sono molto comuni nelle successioni mesozoiche del Sudalpino e dell'Appennino. L'esempio più significativo è probabilmente rappresentato dalla Dolomia Principale; altri esempi sudalpini sono forniti dai Calcari Grigi (membro inferiore) e dalla Corna. Un classico esempio dell'Appennino è costituito dal Calcare Massiccio.

SUCCESSIONI SUBTIDALI DI BASSA ENERGIA - In questa denominazione si possono raggruppare successioni carbonatiche depositatesi in bassi fondali la cui profondità media (30-50 m circa) era tuttavia sufficiente ad impedire che gran parte delle oscillazioni batimetriche ad alta frequenza (di qualunque natura) generassero i cicli peritidali prima descritti. Tali bassi fondali, frequentemente rielaborati dalle onde di tempesta, sono da ricercare all'interno di lagune o baie costiere o nella porzione superiore di rampe deposizionali.

Geometrie. La geometria esterna delle facies subtidali è generalmente tabulare; gli strati, anch'essi tabulari, hanno spessori da decimetrici a metrici.

Litofacies. Questo tipo di sedimenti carbonatici è dominato da facies a granulometria fine. Prevalgono quindi *mudstone*, *wackestone* e *packstone* grigi talora intercalati a livelli, anche spessi, di marne. L'alternanza di calcari e marne è probabilmente da mettere in relazione con oscillazioni climatiche ed eustatiche. Questa facies è comunemente nodulare, per ragioni di diagenesi precoce, ove si associa ad una componente terrigena fine. L'agente di modellamento fondamentale che agisce in questi ambienti è rappresentato da uragani e tempeste invernali che si abbattono con grande frequenza su lagune e baie tropicali. Questo tipo di depositi è di conseguenza caratterizzato da frequenti strati di tempesta che presentano la tipica sequenza verticale di strutture: concentrato conchigliare basale, laminazione parallela, stratificazione obliqua a basso angolo tipo *swaley* e *hummocky* e ripple da onda da smorzamento. Sebbene notevolmente monotone per considerevoli spessori, le facies subtidali possono talora organizzarsi in sequenze di spessore plurimetrico a carattere prevalentemente *shallowing-up*. Queste sequenze di facies hanno inizio con un deposito residuale grossolano trasgressivo e basale cui si sovrappongono micriti bioturbate o marne scure con scarsi fossili corrispondenti alla massima profondità e minima energia raggiunta dall'ambiente deposizionale. L'accrescimento verticale e/o migrazione laterale di corpi sabbiosi adiacenti comporta la sovrapposizione alle unità inferiori dei cicli di depositi granulari secondo una organizzazione *thickening-* e *coarsening-up*. Una variante di bassa energia prevede che l'unità superiore del ciclo sia costituita da facies intertidali fangose del tutto analoghe a quelle descritte a proposito dei cicli peritidali.

Fossili. Le associazioni sono generalmente di mare sottile e a salinità normale (Alghe

dasycladacee, Lamellibranchi, Gasteropodi, Brachiopodi). Nel caso di rampe deposizionali o baie relativamente aperte è tuttavia comune la mescolanza con organismi pelagici (Ammoniti, Lamellibranchi pelagici, Foraminiferi planctonici, ecc.).

Esempi. Esempi di successioni subtidali a bassa energia sono costituiti da larghi settori delle formazioni retiche della Lombardia e dell'Appennino, dal Membro di Rotzo dei Calcari Grigi e da alcune piattaforme anisiche delle Dolomiti (Formazione di Contrin, Dolomia del Serla).

SUCCESSIONI SUBTIDALI DI ALTA ENERGIA - I corpi granulari, a tessitura sabbiosa, che costituiscono questo tipo di successione sono classicamente riferiti ai settori marginali delle piattaforme carbonatiche, ma sono tuttavia presenti anche nelle aree lagunari retrostanti e nella porzione superiore delle rampe deposizionali.

Geometrie. Tali facies costituiscono corpi a geometria esterna tabulare che derivano dalla coalescenza di barre e cordoni litorali interposti tra i depositi fangosi lagunari e le successioni di scarpata.

Litofacies. Sono caratterizzate da calcareniti oolitico-bioclastiche chiare a stratificazione obliqua bidirezionale che talora si associa a laminazioni a basso angolo generate dalla rielaborazione da onda. Caratteristica è la presenza di un cemento fibroso precoce che forma orli isopachi intorno ai granuli. La migrazione di questi corpi sabbiosi verso l'interno o l'esterno della piattaforma ha come risultato la formazione di sequenze di facies negative in cui le sabbie si sovrappongono ai fanghi rispettivamente della laguna o della scarpata superiore.

Fossili. Il contenuto faunistico di queste successioni è spesso ricco e diversificato e dominato da specie di mare sottile a salinità normale (Echinodermi, Brachiopodi, Lamellibranchi), talora mescolate a organismi pelagici.

Esempi. I corpi sabbiosi del Lias superiore della Piattaforma di Trento (Oolite di S. Vigilio) e in settori marginali della stessa piattaforma pliensbachiana, inglobati nel termine comprensivo di Calcari Grigi.

CORPI BIOCONSTRUITI - Al pari delle successioni di alta energia, le facies biocostruite sono tipiche dei margini di piattaforma ma frequenti anche negli ambienti di retroscogliera.

Geometrie. Tali facies sono costituite da corpi per lo più massicci, spesso a geometria lenticolare o cupoliforme, talora osservabile alla scala dell'affioramento. La continuità e distribuzione laterale di questa facies è generalmente modesta mentre il suo spessore può essere localmente considerevole.

Litofacies. Le litologie presenti negli ambienti di scogliera sono notevolmente diversificate e raggruppabili in due grandi categorie: rocce biocostruite in senso stretto (*boundstone* di vario tipo con organismi in posizione di vita e/o parzialmente rimaneggiati) e biocalcareniti e biocalciruditi che derivano dallo smantellamento delle prime. Caratteristica è la presenza di un'elevata porosità inter- e intragranulare spesso con caratteristici cementi e riempimenti geopetali. Il colore è generalmente chiaro. Questo tipo di successioni può essere localmente dolomitizzato.

Fossili. Gli organismi sono numerosi e diversificati in funzione del tipo di margine e dell'età.

Esempi. Tipici esempi sono riconoscibili ai margini di varie successioni carbonatiche paleozoiche, mesozoiche e cenozoiche dell'Italia.

SUCCESSIONI DI SCARPATA - *Geometrie.* Una geometria esterna tipica di queste successioni è costituita da clinostratificazioni a grande scala, ossia da superfici inclinate che rappresentano fasi successive di progradazione della scarpata deposizionale verso il bacino. Le clinostratificazioni sono riconoscibili solo quando la scarpata è sufficientemente acclive (p.es. Dolomiti). Più in generale, nella porzione superiore del pendio prevalgono troncare intraformazionali (*slump scar*) e, nel caso di margini biocostruiti, corpi lenticolari e con spessori plurimetri di breccie (talus di peri-piattaforma) che si chiudono verso il mare aperto,

interdigandosi con le adiacenti successioni bacinali. La maggior parte dei depositi gravitativi si accumula invece nella porzione inferiore della scarpata.

Litofacies. Le litologie presenti negli ambienti di scarpata sono essenzialmente riconducibili a due meccanismi fondamentali: 1) la decantazione di fango di peripiattoforma (una mistura contenente variabili quantità di micrite lagunare e micrite pelagica); 2) la messa in posto attraverso flussi gravitativi di calcareniti e calciruditi alimentate dalla vicina piattaforma. Questi ultimi depositi sono in gran parte costituiti da materiale proveniente dal margine o dal settore ad esso immediatamente retrostante; margini di piattaforma sabbiosi forniscono prevalenti calcareniti a ooidi e bioclasti; margini biocostruiti generano talus detritici più grossolani costituiti da corpi di breccie o megabreccie.

Le strutture sedimentarie presenti sono numerose e riflettono i diversi tipi di risedimentazione gravitativa coinvolti: contatti erosivi, gradazioni normali ed inverse, laminazioni parallele, *slumps* e *slump scars*. In alcuni casi l'abbondanza di corpi di breccie o di megabreccie può suggerire la presenza di scarpate e margini di piattaforma controllati da un'attiva tettonica sinsedimentaria. In questo caso l'analisi delle breccie e il riconoscimento di clasti provenienti da unità più antiche può permettere la ricostruzione di strutture paleotettoniche (scarpate strutturali ai bordi della piattaforma, alti strutturali carbonatici).

Fossili. Al pari dei sedimenti, le associazioni tipiche di questa successione sono caratterizzate da una mistura di componenti pelagici e di piattaforma.

Esempi. Le successioni di scarpata sono classicamente esemplificate dalle piattaforme medio-triassiche delle Dolomiti.

SUCCESSIONI TORBIDITICHE DI BACINO - Questo tipo di sedimenti è costituito in larga prevalenza da sabbie torbiditiche che, depositandosi al piede della scarpata e sul fondo del bacino, formano corpi potenti fino a qualche centinaio di metri che si intercalano alle micriti pelagiche.

Geometrie. La geometria esterna è cuneiforme con gli spessori massimi prossimi alla scarpata di origine. Verso il bacino si osservano un graduale assottigliamento e una transizione laterale alle micriti pelagiche. Gli strati hanno spessori variabili, in funzione della distanza dalla piattaforma alimentatrice; le porzioni prossimali sono infatti costituite da corpi, talora massicci, di torbiditi amalgamate; quelle distali da torbiditi a tessitura più fine, con strati di spessore decimetrico frequentemente associati a micriti pelagiche.

Litofacies. Prevalenti calcareniti oolitiche o bioclastiche analoghe, come tessiture e strutture, a quelle già descritte nelle successioni di scarpata, a cui si rimanda. Sono presenti subordinate micriti bacinali in strati sottili, corrispondenti a periodi di stasi negli apporti torbiditici.

Fossili. Le associazioni sono ovviamente diverse nei livelli risedimentati e in quelli normale sedimentazione bacinale.

Esempi. Un significativo esempio è fornito dal Calcere del Vajont che rappresenta parte del riempimento del Bacino di Belluno con torbiditi oolitiche.

SUCCESSIONI BACINALI NORMALI - Con questa generica definizione sono qui raggruppati depositi di aree relativamente profonde e perciò contrapposte alla piattaforma carbonatica. Sulla base delle caratteristiche del bacino è possibile suddividere questi depositi in successioni di bacini ristretti di intra piattaforma e successioni pelagiche di mare aperto.

Successioni di bacini ristretti di intra-piattaforma - Si tratta di bacini di modeste dimensioni, quasi invariabilmente a circolazione ristretta.

Geometrie. I carbonati di bacino intra-piattaforma costituiscono corpi ben stratificati in strati sottili e tabulari. Lateralmente poco estese, queste facies possono però raggiungere spessori di diverse centinaia di metri. In prossimità dei margini, dove si ha eteropia con la piattaforma, le geometrie sono più irregolari e lenticolari.

Litofacies. Tipica è la presenza di micriti generalmente grigio scure (talora con selce scura)

derivanti da originari fanghi di peri-piattaforma. Tali micriti sono prevalentemente bioturbate, ma in bacini anossici possono conservare l'originaria laminazione da decantazione. Localmente esse si intercalano a marne ricche in carbonio organico. Frequenti sono anche sabbie torbiditiche provenienti dalle vicine piattaforme; comuni pure gli *slumps* a diversa scala. Se gli apporti torbiditici grossolani prevalgono sui depositi fangosi indigeni si originano quei corpi sabbiosi torbiditici prima descritti.

Fossili. Sono irregolarmente distribuiti. Si possono comunemente ritrovare in orizzonti preferenziali organismi pelagici (Radiolari, Ammoniti, Nannofossili calcarei, ecc.) intercalati ad associazioni rimaneggiate dalle piattaforme adiacenti.

Esempi. La Formazione liassica di Soverzene nel bacino omonimo e la Formazione mediotriassica di Livinallongo.

Successioni di bacino aperto (pelagiche) - Geometrie. Si tratta di depositi caratterizzati da una grande persistenza laterale e da sottili strati tabulari.

Litofacies. Sono caratterizzate da prevalenti calciliti (*mudstones* e *wackestones*) varicolorate (bianco, rosso, cinereo, verde) e subordinate calcareniti medio-fini intraclastiche di colore da grigio chiaro a scuro. Sono costituite prevalentemente da organismi planctonici e sono variamente bioturbate (da bioturbazioni visibili a livelli totalmente omogeneizzati). Le successioni pelagiche a componente carbonatica possono presentare alternanze cicliche regolari di carbonato-marna e/o argilla calcarea, raramente argilla. Spesso sono diffusi i noduli e le liste di selce. Le successioni pelagiche hanno in genere una bassa velocità di sedimentazione, ma sono continue.

Fossili. I fossili, che costituiscono il sedimento, sono microrganismi pelagici, quali tentaculiti pelagici, nannofossili calcarei e, subordinatamente, foraminiferi planctonici, o nannofossili calcarei associati a macrofossili (Ammoniti, Lamellibranchi pelagici, talvolta Echinodermi, ecc.). In queste litofacies la componente bentonica è scarsa (max 1%) e per lo più costituita da foraminiferi di ambiente batiale o abissale.

Esempi. Parti del Biancone e della Maiolica e numerose varietà di Scaglia. Tra le successioni pelagiche sono inoltre da considerare le litofacies a componente totalmente o prevalentemente silicea, quali Radiolariti, Calcari Diasprigni, Diatomiti. In questo caso i costituenti del sedimento, fortemente diagenizzati, sono i microrganismi a guscio siliceo quali Radiolari e Diatomee, mentre la componente carbonatica, quando presente, è costituita da nannofossili calcarei.

SUCCESSIONI CONDENSATE - Laddove la sedimentazione sia fortemente ridotta e lacunosa si originano depositi, generalmente a struttura nodulare e di colore rosso, che sono stati indicati con il termine generico di successioni condensate. Tali successioni, classicamente esemplificate dal Rosso Ammonitico e dai suoi equivalenti paleozoici, sono di norma caratterizzate da associazioni pelagiche, circostanza che suggerisce una loro collocazione in un ambiente sicuramente aperto, ma la cui profondità è ancora oggetto di discussione. Le stime sono in bilico tra le considerevoli profondità proposte dagli specialisti del Sudalpino e il subtidale meno profondo prediletto dagli studiosi dell'Appennino. Una salomonica interpretazione prevede che questa facies, tipica di piattaforme annegate in progressivo approfondimento, sia dotata di una notevole escursione batimetrica di formazione, ma pur sempre al di sotto della zona eufotica.

Geometrie. Si tratta di sottili livelli (talora pochissimi metri) tabulari, ben stratificati, dalla grande persistenza laterale, frequentemente associati a lacune di sedimentazione.

Litofacies. *Packstone* e *wackestone* a peloidi e bioclasti, frequentemente rossi, talora verdi, intensamente bioturbati a struttura nodulare conseguente e a diagenesi precoce. Sono frequentemente presenti *hard-ground* ferro-manganesiferi sotto forma di noduli o croste. Se l'area a sedimentazione condensata è ubicata lungo una scarpata di *by-pass* saranno allora presenti le strutture (*slumps* e *slump-scars*) diagnostiche di questo ambiente.

Fossili. La sedimentazione condensata ha come effetto una forte concentrazione fossilifera

tanto che queste successioni sono ricchissime di Ammoniti e dei loro opercoli, di Belemniti e, più in generale, di organismi pelagici.

Esempi. L'esempio più ovvio è fornito dal celeberrimo Ammonitico Rosso del Dogger-Malm che caratterizza larghi settori della Tetide; numerose altre facies nodulari sono frequenti nelle successioni paleozoiche e mesozoiche delle Alpi Meridionali e dell'Appennino.

1.2.3. Metodi di campionatura paleontologica

Scopo dell'analisi biostratigrafica è quello di costruire una griglia temporale, quindi di correlazione, per una corretta ricostruzione dei rapporti stratigrafici tra le unità riconosciute e cartografate.

Il contenuto fossilifero di un'unità cartografabile deve, quindi, essere esaminato in una sezione stratigrafica, nella quale il prelevamento dei campioni dovrà tener conto del litotipo(i) dominante(i), dell'analisi di facies e dell'organizzazione della sequenza deposizionale considerata. Questo approccio permette di rendere ottimale la campionatura minimizzando la raccolta di campioni sterili o poco significativi per la datazione. La campionatura in successione ha, inoltre, il vantaggio di mettere in evidenza la posizione, entità e significato di eventuali lacune e/o ripetizioni nella successione e le variazioni batimetriche. Ne consegue che una campionatura puntiforme e/o semplicemente a tetto e a letto di un'unità, e quindi non ragionata, è sconsigliata sia ai fini scientifici che economici.

L'analisi biostratigrafica in certi intervalli tempo e per certi gruppi fossili non può prescindere dall'utilizzo di una metodologia quantitativa. Anche in questi casi, tuttavia, essa non può essere avulsa dai processi fisici che hanno controllato anche in maniera ciclica sia verticalmente che lateralmente la sedimentazione.

L'analisi biostratigrafica a seconda dell'intervallo tempo si basa sui seguenti gruppi fossili il cui studio è pertanto irrinunciabile:

Paleozoico: Conodonti, Chitinozoi e Acritarchi, Dacrioconaridi, Trilobiti, Graptoliti, Molluschi (Nautiloidi e Ammonoidi), Macroforaminiferi (Fusulinine), Brachiopodi, Alghe calcaree.

Mesozoico: Ammoniti, Conodonti (Triassico), Nannofossili calcarei (Giurassico-Cretacico), Calpionellidi (Giurassico sommitale-Cretacico inferiore p. p.), Foraminiferi planctonici (Barremiano-Maastrichtiano) e subordinatamente bentonici, Dinoflagellati, Palinomorfi, Radiolari, Alghe calcaree, Macroforaminiferi, Bivalvi (es. Daonelle, Halobie, Inoceramidi, Rudiste), Brachiopodi, Nerinee.

Cenozoico: Nannofossili calcarei, Foraminiferi planctonici e subordinatamente bentonici, Dinoflagellati e altri Palinomorfi, Radiolari, Diatomee, Macroforaminiferi, Alghe calcaree.

Quaternario: Nannofossili calcarei, Foraminiferi planctonici e bentonici, Dinoflagellati, Spore e Pollini, Radiolari, Diatomee.

Modalità di campionamento - Essa è strettamente legata al tipo di sedimentazione, alla litologia ed al grado di conoscenza stratigrafico-sedimentologica della successione in esame. A questo fine può essere rilevante stimare l'ordine di grandezza del tasso di sedimentazione. Il problema è particolarmente delicato in caso di successioni torbiditiche.

In particolare:

a) Nel caso di litologie uniformi, in genere legate a deposizione pelagica o emipelagica, i tassi di sedimentazione sono bassi, per cui la campionatura dovrà essere abbastanza fitta (da <1 m a 2 m massimo nelle facies tipo Scaglia, da 2 a 5 m nelle facies tipo Marne a Pteropodi o Schlier). La dimensione del campione varierà in funzione del tipo di preparazione necessaria per l'analisi biostratigrafica: nel caso di litotipi disaggregabili, e quindi lavabili, il campione dovrà essere di 300-500 gr, nel caso di litotipi induriti, quindi da sezionare, il campione potrà avere dimensioni minori.

b) Per le successioni a meso- o macrofossili, la densità di campionamento varierà in funzione della frequenza e spessore dei livelli distinguibili macroscopicamente e delle litofacies loro associate. L'atto materiale della raccolta del campione in questo caso deve essere sempre preceduto da una corretta analisi dei processi biostratinomici e di fossil-diagenesi. Ciò per evidenziare fenomeni quali, il trasporto in massa dei resti scheletrici (TFA, Transported Fossil Assemblage), il mescolamento tra organismi autoctoni ed alloctoni (MFA, Mixed Fossil Assemblage), la fossilizzazione di una parte della comunità vivente originaria (RFC, Residual Fossil Community), la concentrazione di resti scheletrici in ambienti a basso tasso di sedimentazione, la rielaborazione di resti scheletrici di età precedente alla deposizione dell'unità investigata, l'infiltrazione meccanica di resti scheletrici di organismi di età posteriore a quella di formazione del corpo roccioso incassante.

c) Per le facies condensate, anche nel caso in cui i meso- e macrofossili fossero assenti, la campionatura dovrà essere molto più fitta, livello per livello.

d) Nelle unità torbiditiche, la campionatura non può prescindere dalla considerazione che i depositi torbiditici s.l., ed in parte quelli bacinali, hanno subito, in modo più o meno evidente, vari tipi di processi di risedimentazione e mescolamento, tanto più importanti quanto minore è il tasso di sedimentazione. Il presupposto per una campionatura ragionata e affidabile, in questi casi, risiede nell'individuazione del modello deposizionale nel contesto fisiografico-ambientale dell'unità da campionare. Qualora tale modello deposizionale non sia preventivamente conosciuto, la campionatura di routine di una sezione stratigrafica dell'unità in oggetto dovrà essere preceduta da una campionatura pilota senza pregiudizi, che permetta la formulazione e la verifica di un modello deposizionale integrato. In ogni caso si dovranno predeterminare la posizione e le caratteristiche delle intercalazioni emipelagiche o pelagiche, le sole che minimizzano i mescolamenti. Se queste fossero assenti, se ne dovranno ricercare le testimonianze, più o meno traslate, nei clasti, pelitici entro torbiditi o breccie allodapiche: questi clasti in genere si rinvengono alla base degli strati torbiditici o in corrispondenza di amalgamazioni fra gli stessi.

Inoltre, i gusci liberi di organismi, trasportati da correnti di densità, sedimentano e si concentrano in orizzonti selettivi in funzione delle loro caratteristiche e della meccanica dei fluidi. Per cui solo predeterminando la posizione di questi orizzonti negli strati torbiditici è possibile prevederne la campionatura. Si avranno così molti più elementi per individuare entità, modalità e significato dei vari tipi di mescolamento, fino ai casi estremi di infiltrazione, e formulare un modello che dia il grado di attendibilità della datazione.

e) Nel caso di unità miste come depositi di scarpata carbonatici e terrigeni, dovrà essere privilegiata la campionatura delle areniti, anche grossolane e subordinatamente quelle fini, oltre al sedimento pelagico interposto. In quest'ultimo caso, infatti, il miglior segnale biostratigrafico risiede alla base degli orizzonti arenitici. Particolare attenzione dovrà essere dedicata alle possibili discontinuità dovute alle nicchie di distacco di frane sottomarine.

f) Per quanto riguarda i depositi di piattaforma carbonatica la campionatura dovrà essere in funzione della distribuzione areale delle facies (campioni in ogni facies).

Particolari tipi di campionamento, anche dal punto di vista delle dimensioni dei campioni, dovranno essere utilizzati per gruppi "speciali" come conodonti (campioni in genere >1kg), palinomorfi (vedi paragrafo successivo), radiolari (ricerca in situ con HF), ecc.; tuttavia, anche in questi casi si dovrà tener conto del tasso di sedimentazione e delle caratteristiche litologiche sopra menzionate.

La campionatura per gli studi di Paleobotanica e Palinologia - Gli studi paleobotanici e palinologici portano contributi frequentemente fondamentali per la datazione di sequenze stratigrafiche dall'ambiente continentale franco a quello di transizione e di laguna, alla piattaforma terrigena fino alla scarpata, con la possibilità di costruzioni di scale talvolta anche ad alta risoluzione biostratigrafica. Essi, però, necessitano di una campionatura mirata che

tenga conto dei fattori specifici soprattutto per la loro conservazione. I macro- e microfossili, che si studiano in questa branca paleontologica, sono molto vari ed includono: legni, frutti, semi, spore e pollini, foglie, fitoliti di piante superiori, od organismi unicellulari come diatomee, dinoflagellati e più raramente altre alghe. Tra i microfossili, detti comunemente palinomorfi, sono inclusi altri microorganismi quali i Chitinozoi e gli Acritarchi, di incerta posizione sistematica, ma strumenti stratigrafici irrinunciabili dal Proterozoico superiore al Devoniano.

a) Nello studio dei palinomorfi il primo stadio è di importanza fondamentale e i suoi effetti si ripercuotono sulla qualità dei risultati. Per la ricerca di Chitinozoi, Acritarchi e Dinoflagellati la campionatura deve essere eseguita a maglia molto fitta anche se la successione appare litologicamente monotona: la precisione dei risultati è funzione della densità dei prelevamenti. Nelle successioni miste carbonatico-terrigene, la campionatura deve essere fatta banco per banco, mentre nel caso di successioni a litologia omogenea (argille, peliti, siltiti, ecc.) si può stabilire una maglia di campionamento che tenga conto della velocità di sedimentazione e dell'estensione del deposito. La quantità sarà di 200 gr (massimo 300 gr) di roccia per campione, che sarà costituita dalla somma di più prelievi fatti in diversi punti dello stesso banco o livello. Questo per ottenere associazioni più rappresentative dello stesso livello ed eliminare effetti di concentrazione, ad esempio meccanica, che si verificano nei sedimenti terrigeni anche a seguito di stress tettonici.

b) Poiché i palinomorfi ed i resti vegetali in genere si ritrovano in rocce, il cui ambiente deposizionale e diagenetico si è mantenuto con valori di *Ph* basso e di *Eh* negativi, per la scelta dei banchi o livelli ci faremo guidare prima di tutto dal colore, dal tipo litologico e dalla granulometria.

Colore: sono da preferire le litologie di colore da grigio a nero. Nel caso di sedimenti silicoclastici, come argilliti, anche quelle di colore verde o grigioverde, che denotano episodi epimetamorfici, possono essere fossilifere. Sono da escludere litologie di colore rosso o bianco, che indicano ambienti molto ossigenati.

Litologia: i migliori serbatoi di palinomorfi sono argille e silt; i carbonati, quando ad alto contenuto in materia organica o bituminosi ed a grana fine possono contenere Chitinozoi, Acritarchi e Dinoflagellati. Le marne, purché grigie o grigio scure, possono essere produttive per tutti i palinomorfi. Nel caso di sedimenti ad elevatissimo contenuto organico vegetale, l'abbondanza dipende dal grado di metamorfismo o di carbonificazione. Di conseguenza, argille organiche e torbe sono altamente fossilifere; le ligniti lo sono in misura più modesta, ed in particolare quelle a superficie lucida sono sterili. Le antraciti di norma sono sterili, in caso contrario gli sporomorfi contenuti sono troppo rovinati per permettere determinazioni affidabili. Buoni sedimenti sono anche i tufi o le cineriti vulcaniche di colore grigio depositatesi in ambienti marini e lacustri.

In aree fortemente o discretamente tettonizzate sono da evitare campionature vicino a punti in cui vi è stata rimobilizzazione di minerali, ad esempio silice, anche se le concentrazioni sono di modesta entità. Se vi sono pieghe, si dovrà evitare di prendere il campione sulla cerniera, meglio prelevarlo sul fianco. Se vi sono banchi a diversa competenza, ad es. arenarie o quarziti ed argille o argilliti, non trascurare in una regolare campionatura di prelevamento degli interstrati, anche se molto sottili, tra i livelli più competenti. Sovente, i palinomorfi sono meglio conservati negli interstrati rispetto al resto della successione. Sono da evitare campionature in aree interessate da metamorfismo di contatto, quindi nella zona di cintura dei batoliti e nei banchi sottostanti le vulcaniti nelle successioni vulcano-sedimentarie.