

Da L.G. Weeks

FACTORS OF SEDIMENTARY BASIN DEVELOPMENT THAT CONTROL OIL OCCURRENCE.

1952

Introduzione

Gli idrocarburi sono costituenti normali delle rocce sedimentarie, come il ferro, l'oro, il rame, ecc. sono disseminati normalmente nella crosta terrestre.

E' bene tener presente tuttavia che, come nel caso di questi minerali, la natura ha concentrato giacimenti di petrolio in certe particolari posizioni. L'80% degli idrocarburi estratti nel mondo sono accumulati in tasche disseminate dentro il 20% dei quindici milioni di miglia quadrate di area dei bacini sedimentari. Questa situazione non sembra strana se si tiene presente che precise condizioni ambientali controllano l'accumulo degli idrocarburi.

Alcuni anni fa lo scrittore ha coniato in termine "Probabilità di accumulo di olio". La variazione di probabilità di accumulo é grandissimo non solo fra differenti bacini sedimentari ma anche fra differenti parti di uno stesso bacino. C'è grande variazione di quantità d'olio in rocce di differente età, c'è naturalmente estrema variazione da strato a strato dei sedimenti che riempiono ogni bacino.

La probabilità di accumulo d'olio é intimamente legata a due fattori basilari. Il primo dei fattori é il tipo di bacino, la sua maniera di crescita, la risultante architettura e la forma del fondo al tempo della sedimentazione. Il secondo fattore riguarda le condizioni di sedimentazione e d'ambiente sul bacino e sul fondo dello stesso, al tempo della deposizione e poco dopo.

Sviluppo fisico dei bacini.

Conoscere la maniera di sviluppo dei bacini di differenti tipi é fondamentale per conoscere l'accumulo di olio.

Un primo sguardo all'architettura dei bacini é necessario.

### Struttura crostale della terra.

La fig. 1 mostra che la struttura della terra é essenzialmente composta di:

- a) Regioni relativamente rigide o "regioni stabili" e
- c) Lineari "cinture mobili".

Le "regioni stabili" sono costituite dalle aree precambriane e dai loro margini piegati. Le grandi piattaforme oceaniche sono state anche regioni stabili.

Le "lineari cinture mobili" fasciano i margini delle regioni stabili e anche le suddividono in cratoni sussidiari. Le "cinture mobili" comunemente racchiudono due unità (fig. 2):

- 1) Le fosse geotecnicali.
- 2) I rilievi geotecnicali o catene montuose, che sorgono vicino alla fossa e che periodicamente si riversano nella fossa e sul lontano "foreland".

### Accrescimento concentrico dei continenti.

Gli scudi continentali sono aggregati di "cinture mobili" sviluppatesi in quella lontana e lunga parte della storia geologica che precede il Cambriano. In generale gli anziani scudi e gli attuali continenti sono cresciuti concentricamente attraverso i tempi geologici. Ogni successiva cintura mobile é diretta verso il centro degli scudi e continenti. Esempi sono: lo scudo Canadese e gli appalachiani e le cordigliere che sono cinture aggiunte concentricamente al nucleo continentale. Tutti gli altri scudi e continenti del mondo mostrano la stessa struttura concentrica.

### Ciclo diastrofismi - Sedimentazione.

Il periodo dalla nascita della "cintura mobile" alla sua ultima stabilizzazione e finale progressione del mare può essere chiamato ciclo diastrofico-sedimentario.

Le origini dei sedimenti varia grandemente, dipendendo dal relativo rilievo

ed estensione del "foreland" (avampaese) interno e dei "borderingland" (rilievi marginali). Durante il periodo in cui questi ultimi sono prominenti la maggior parte dei sedimenti é fornita da loro. I sedimenti possono anche venire portati sull'avampaese.

In questi periodi l'acqua della "cintura geosinclinale" deve essere stata meno profonda di quella dell'avampaese.

Quando invece il rilievo marginale era basso o largamente coperto dall'acqua, grandi scogliere calcaree venivano costruite sopra o intorno a queste zone di alto. Durante questi periodi le aree piú profonde delle geosinclinali erano riempite con calcari finissimi, e scisti argillosi.

#### Selle lungo le cinture mobili.

Uno dei piú importanti effetti delle forze distrofiche é quello di creare selle lungo le cinture mobili. Questo é evidente nei rilievi montani. Essi non sono mai semplici e continui ma sono dati da una serie di segmenti, foggiate a gradinata e separati dalle selle. Allo stesso modo i geosinclinali delle cinture mobili di tutto il mondo non costituiscono una fossa continua ed uniforme ma sono composte da una successione di fosse comunemente feggiate a gradinate, separate da selle.

Le fosse hanno il loro asse maggiore generalmente orientato come la cintura mobile.

#### La probabilità di accumulo di olio varia largamente.

Vi sono grandi differenze fra le cinture mobili e le regioni stabili rispetto al tipo di bacino e alla sua architettura e rispetto ai cambiamenti che hanno luogo in tutti i bacini durante la loro vita.

Sotto certe circostanze, aree limitate possono essere estremamente produttive mentre larghi bacini possono contenere piccole quantità di olio.

### Maniera di sviluppo dei bacini.

Lo scrittore é convinto che il bacino di subsidenza é essenzialmente un fenomeno di piegamento gravitativo che é accompagnato da una fagliatura nella crosta del basamento piuttosto che un semplice incrinamento della crosta stessa.

Nessun bacino di subsidenza trae origine da compressioni tangenziali. Al contrario le compressioni tangenziali che sono episodiche tendono a interrompere la subsidenza od a produrre sporadici sollevamenti.

E' chiaro anche che la causa primaria della subsidenza non può essere attribuita al peso dei sedimenti. Lo sviluppo é dovuto a subsidenza solo se il bacino sottostante é rotto. Sembra quindi che i bacini comincino la loro esistenza e rinnovino la loro subsidenza per mezzo delle faglie, come é mostrato a fig. 11. Come disegnato, un lato del bacino era più mobile dell'altro. E' sorprendente come comunemente questo si verifica anche in regioni relativamente stabili.

Una zona comune di faglie é lungo la cintura di transizione fra scudi relativamente stabili e fosse geosinclinali di più rapida subsidenza. Questo passaggio comunemente ha forma di flessura in sedimenti plastici.

E' una comune architettura dei bacini avere una zona di cerniera che varia nelle differenti età della storia dei bacini.

Uno dei più comuni generi di bacini di subsidenza é il mezzo graben (fig.11).

Col progredire del ciclo diastrofico-sedimentario, la forma del bacino diventa sempre più asimmetrica e altrettanto succede alla piega frontale che sta crescendo. Alla fine, nell'ultimo stadio del ciclo, il rilievo anticlinale si rovescia verso il bacino e l'avampaese.

In avanzato stadio di mobilità molti sedimenti prima depositati nelle geosinclinali possono essere incorporati sul rilievo. Come qualcuno ha detto il bacino tende a divorare se stesso.

Un esempio di sviluppo di cintura mobile é quello del geosinclinale alpino, lungo quella che é oggi la parte sud del rilievo ed era il vecchio nucleo delle Alpi.

E' significativo che calcari e scisti e alcune sporgenti scogliere costituiscano la maggior parte dei sedimenti primitivi formatisi in età dal Trias al sopracretaceo.

Col progredire del ciclo diastrofico-sedimentario si sono avuti periodici sollevamenti e progressivi accavallamenti del rilievo geosinclinale. Più o meno concomitante con questi sollevamenti e rovesciamenti, anche l'asse del geosinclinale di deposizione, di fronte al geosinclinale, si muoveva verso l'esterno. Così la fossa delle molasse mioceniche, l'ultimo geosinclinale che ha ricevuto sedimenti (molti dei quali furono forniti dall'erosione dei rilievi emergenti), giace più lontano e a nord del presente fronte nord delle Alpi, e considerevolmente più a nord del 1° geosinclinale Triassico.

Questa progressione verso l'esterno delle catene montuose e delle geosinclinali frontali è comune nello sviluppo delle cinture mobili.

Il golfo di California (Imperial Vallej) è un esempio tipico di mezzo graben che è ancora oggi giorno in stadio di mobilità.

Una zona principale di faglie è ben sviluppata lungo l'intera parte ovest di questo mezzo graben. La zona di faglie di S. Andrea è una continuazione verso nord a gradinata, della principale zona di faglie visibile lungo la parte ovest del mezzo graben.

#### Bacini di cintura mobili.

I geosinclinali e le cinture mobili possono essere marginali alle aree continentali (bacini extra continentali) o possono essere posti attraverso la piattaforma continentale e quindi dividerla in cratoni sussidiari (bacini intracontinentali).

Altri bacini della cintura mobile sono intermontani per posizione e carattere.

Un esempio di bacino extra continentale aperto è la costa del Golfo. Il geosinclinale è chiamato "marginale aperto" perchè il rilievo che comunemente si

sviluppa dietro alle spalle del profondo geosinclinale non é ancora emerso permanentemente dal mare.

L'assenza di un visibile rilievo lungo il geosinclinale della Costa del Golfo può essere dovuta ad una persistente subsidenza della regione già iniziata nel mesozoico e accentuata nel quaternario.

I "marginali chiusi" sono stati i più importanti tipi di geosinclinali extracontinentali. L'ingresso al mare di questi tipi fu parzialmente impedito da terre peninsulari, insulari o arcipelaghi. Si può osservare che generalmente un geosinclinale marginale aperto tende ad evolversi nel tipo marginale chiuso.

In molte cinture mobili l'asse di ogni geosinclinale progredisce col tempo verso l'esterno, come il rilievo si innalza.

Così l'asse del geosinclinale terziario giace considerevolmente più all'esterno di quello cretaceo e questo più esterno di quello Triassico.

Una "Facies geosinclinale" derivata dalla rapida deposizione di materiali clastici di un rilievo sorgente non é sempre presente. In alcuni periodi, particolarmente nella prima metà del ciclo diastrotico-sedimentario, i rilievi marginali furono comunemente poco estesi e bassi e predominava fango calcareo e argilloso. Un buon esempio é il geosinclinale delle cordigliere dell'ovest degli S.U.

La maggior parte dei sedimenti mesozoici delle geosinclinali mesozoico-terziarie, come i Pirinei, le Alpi, il Mexico, ecc., sono composti prevalentemente da calcari e marne.

C'è una comune tendenza di pensare le cinture che hanno maggiore spessore di accumuli come geosinclinali di acqua molto profonda. Questo non é sempre vero. E' generalmente la cintura di più rapida e continua subsidenza che permette un grande accumulo di sedimenti. Attualmente il mare può presentare la sua maggiore altezza in queste cinture. Questo può essere particolarmente giusto se e quando rilievi emergenti forniscano sedimenti clastici ad una velocità eguale o maggiore della velocità di subsidenza.

Bacini intermontani

Bacini intermontani sono quelli che si sviluppano dentro i rilievi della cintura mobile. Generalmente sono dati da graben o da mezzi graben. Un esempio é il bacino di S.Juan nel nuovo Mexico. I bacini intermontani raramente raggiungono uno stadio di avanzata mobilità.

Bacini di regioni stabili.

Il carattere delle geosinclinali delle regioni stabili é largamente spiegato dal nome usato per disegnarlo.

Il (forelandshelf) é quell'area del bacino che si estende dalla cerniera che collega il geosinclinale della cintura mobile verso l'interno. E' un'area di relativamente dolce subsidenza perciò si include dentro i bacini delle regioni stabili.

Esempi di questi bacini sono quelli di Mosca e molti dell'Africa.

Molti bacini interni hanno forma di dolce geosinclinale aperta. Tuttavia, faglie normali in stadi più o meno avanzati accompagnano generalmente il piegamento che produce il bacino.

Altri bacini delle regioni stabili possono essere del tipo di graben o mezzo graben. La loro natura é già stata descritta. Nelle regioni stabili essi non si evolvono oltre lo stadio primitivo, come invece capita nelle cinture mobili. Un esempio di questi bacini a graben o mezzi graben é quello dello scudo Africa-Arabia.

Condizioni della forma dei bacini che influiscono sull'accumulo dell'olio.

Nella parte precedente di questo articolo é stata esaminata l'architettura dei bacini. Ora si analizzeranno alcune delle condizioni di sedimentazione e di ambiente, presente nei bacini di deposizione che influiscono sull'accumulo dell'olio.

L'accumulo dell'olio é in relazione alla primitiva condizione di sedimenta-

zione del bacino piuttosto che alla sua struttura attuale.

La quantità d'olio che si può essere formata e accumulata in un bacino è controllata dalle condizioni che si avevano nel bacino e sul suo fondo al tempo del deposito. Per questa ed altre ragioni la formazione e l'accumulo di olio (cioè la sua presente distribuzione) possono anche non essere in relazione con la struttura attuale del bacino.

La formazione dell'olio è probabilmente, nella maggior parte dei casi, uno dei processi diagenetici che avvengono nei sedimenti fra il tempo del loro deposito e la loro solidificazione. Questo periodo di diagenesi in cui l'olio è formato, è un periodo di instabilità fisica, chimica, biochimica e mineralogica. Poiché la probabilità di accumulo di olio è rigidamente controllata dal tipo di deposito e dalla struttura dei bacini, sarà esaminata brevemente qualcuna delle fondamentali differenze di ambiente e di facies risultanti che favoriscono o precludono l'accumulo di olio.

#### Flutto o corrente di base.

L'ambiente e le facies sedimentarie sono in stretta relazione con la profondità del flutto effettivo o "corrente di base" che si aveva al tempo della deposizione. La fig. 21 mostra la posizione della corrente di base in due tipi di bacini.

La corrente di base può essere definita come la massima profondità a cui i flutti e le correnti sono in grado di muovere sedimenti e sopra la quale non si possono verificare normalmente deposizioni permanenti.

E' ovvio che la profondità alla quale i flutti sono in grado di muovere sabbie è minore di quella a cui i flutti muoveranno la fanghiglia e le più leggere particelle di materia organica, che hanno peso specifico di poco superiore a quello dell'acqua stessa. Come risultato, le particelle più fini e leggere sono selezionate dai sedimenti per mezzo delle correnti e sono portate sui fondi stragnanti che sono i soli posti dove esse possono riposare. Le sabbie così vagliate, sono quindi lasciate sui fianchi dei bacini.

La corrente di base può variare da centinaia di piedi o più in bacini ampi e aperti a qualche decina di piedi per i bacini parzialmente chiusi.

#### Depositi "Dumped".

I sedimenti che sono depositati direttamente sotto la corrente di base o che sono stati trasportati sul fondo a velocità maggiore della corrente, possono contenere abbondanze di sabbie, ma generalmente hanno porosità e permeabilità minore di uno scisto.

Sedimenti di questo tipo sono chiamati dallo scrittore "Depositi Dumped". Alcuni di questi sono chiamati scistosi o argilloso-sabbiosi o sabbioso-scistosi da alcuni geologi.

Alcune facies del così detto flisch sono di questa natura.

Uno dei maggiori esempi di depositi Dumped è costituito dal grande volume di materiali plastici, rapidamente depositati, che riempie la grande fossa terziaria di Assam nel nord est dell'India.

#### I migliori bacini di deposito sono a trogolo (Silled).

E' stato detto che le fosse di deposito sono generalmente più sviluppate lungo le cinture mobili e tra queste le più efficaci sono quelle a trogolo, cioè con la parte centrale più bassa delle laterali.

Una ragione per cui i bacini a trogolo sono più propizi alla formazione dell'olio che è normalmente nella profondità del trogolo, che chiude parzialmente il bacino, l'acqua rimane stagnante. Come risultato, si sviluppano condizioni riducenti che riparano la materia organica dall'ossidazione dei batteri. Un esempio di bacino a trogolo è quello di Maracaibo e quello del golfo Persico.

Naturalmente bacini a trogolo sono esistiti in tutti i periodi geologici, anzi, ci sono pochi bacini che non presentano depressioni a trogolo di qualche tipo, anche di limitata estensione, occupando cioè una piccola parte del largo fon

do di sedimentazione. E' pertanto difficile condannare un bacino come sterile, perchè può racchiudere piccoli trogoli. La fig. 23 rappresenta una fossa di deposizione che si può paragonare al trogolo.

#### Parziale ossidazione - riduzione.

Uno dei migliori indici delle condizioni ambientali di un bacino di deposizione è il potenziale ossidazione - riduzione comunemente indicato con Eh. Ambienti areati hanno un potenziale positivo, cioè, si hanno condizioni ossidanti.

Nelle acque di bacini ristretti o a trogolo, come quello di fig. 33, il potenziale decresce con la profondità.

Le fosse ad acque stagnanti saranno quindi in condizioni riducenti.

E' una legge di natura che i batteri aerobici vivano in ambienti ossidanti così che gli ambienti stagnanti sono i soli in cui la materia organica può essere preservata perchè non distrutta dai batteri. Non si conosce quale sia l'optimum per la formazione del petrolio. Forse i massimi effetti diagenetici si hanno dove le condizioni tra sedimenti e acqua sono neutre o sono leggermente ossidanti, dove la materia organica è abbondante e il suo ricoprimento relativamente rapido e dove la capacità di riduzione è al massimo. Tuttavia è da tener presente che dove le acque di fondo hanno per loro stesse un alto potenziale negativo, il salto di potenziale è minimo e quindi non si forma olio libero. Ci sono molti esempi di scisti altamente bituminosi che presentano pochissimo olio libero.

Sembra che i sedimenti abbiano trattenuto grandi quantità dell'ordinaria sostanza organica a causa di un arresto nel cambiamento di stato dovuto alla poca differenza di potenziale fra sedimenti e acqua di fondo.

#### Facies delle rocce magazzino calcare.

La roccia magazzino primaria comprende assieme alle sabbie vagliate, varie rocce calcaree che vengono depositate solo in ambiente areato e ossidante e molto al di sopra della corrente di base.

Queste facies calcaree includono: detriti calcarei grossolani, calcari organogeni, ~~colitici~~ e dolomitici. Per questi ultimi s'intende la dolomia che risulta nei processi diagenetici. Naturalmente i magazzini includono scogliere sia bioerme che biostrome. Le bioerme in particolare, rappresentano i soli depositi che si possono accumulare sopra la corrente di base.

#### Facies delle rocce madri.

Da quanto detto sopra é ovvio che la maggiore porosità primaria in ogni tipo di sedimento si sviluppa immediatamente sopra la corrente di base. Reciprocamente, le facies di rocce madri si possono accumulare solo in ambiente anaerobico e riducente, quindi roccia magazzino e roccia madre hanno facies ben distinte e separate.

Un giacimento, perchè sia commercialmente utile, deve presentare insieme roccia magazzino e roccia madre. Non é strano che l'olio si trovi accumulato sui fianchi dei bacini. Questi sono luoghi in cui coesistono ambienti favorevoli sia per le rocce madri che per le rocce magazzino. Non si conosce quasi niente circa i cambiamenti che hanno luogo nelle sostanze organiche dopo che vengono ricoperte dai sedimenti, si é certi però che la materia organica viene depositata sotto condizioni anaerobiche. Da ciò risulta evidente che é l'ambiente che determina l'accumulo di petrolio. La base principale della geologia del petrolio é quindi lo studio delle facies, che sono lo specchio degli ambienti in tutte le loro manifestazioni.

E' stato detto spesso che le carte di facies isopache costituiscono il miglior mezzo per determinare l'ambiente, ma facies ed ambiente sono determinati dalla forma del bacino e quindi non si può prescindere mai da questo dato.

#### Biofacies come indicatori di ambiente.

Uno dei più noti metodi per ricostruire l'ambiente é basato sullo studio delle faune o biofacies. La fig. 24 riporta una classificazione e una distribuzione

della vita marina in normali condizioni in mare aperto. In un bacino ristretto o parzialmente chiuso, qualcuna delle biofacies dovrà essere modificata e qualcuna del tutto eliminata.

Le biofacies vicino e sopra alla corrente di base in bacini ristretti sono prevalentemente bentoniche.

Sotto la corrente di base in bacini ristretti, l'insieme di biofacies può variare rapidamente ed essere costituita per la maggior parte da resti di plancton. I sedimenti della zona stagnante possono contenere pochi fossili e non determinabili.

E' ovvio che sedimenti che contengono prevalentemente faune bentoniche non possono costituire le rocce madri ma potranno essere magazzino di olio giunto per migrazione laterale o verticale.

L'energia che si trova nel petrolio trae la sua prime origine nella zona superficiale, aerea e luminosa. Qui, attraverso i processi di fotosintesi e per mezzo dell'energia solare, l'anidride carbonica e l'acqua sono fissate nelle piante marine (fitoplancton) che formano la base del zooplancton necton e benthos. La distruzione per mezzo dei batteri fa sì che l'energia presa dal sole e che fu endotermicamente costruita dentro la materia organica, sia esotermicamente restituita e persa. In questo processo, la materia organica si converte nuovamente nei prodotti stabili come anidride carbonica, acqua ecc. dai quali era derivata.

Il petrolio è considerato da molti chimici come metastabile.

Con l'applicazione di sole piccole quantità di energia, per esempio una fiamma, l'equilibrio è distrutto.

Quando questo accade, l'energia da lungo immagazzinata nel petrolio è restituita esotermicamente e gli idrocarburi sono convertiti nei composti stabili originali dei quali vengono derivati.

E' dovuto all'ambiente anaerobico e riducente che esiste nelle parti più profonde dei bacini, se l'energia viene conservata nella sua forma metastabile che è il petrolio.