



## **UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA**

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali  
**CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN SCIENZE GEOLOGICHE**

---

### **SERPENTINITI DELLA TETIDE NELLA LITOSFERA DEL MEDITERRANEO E IMPLICAZIONI GIACIMENTOLOGICHE: GLI IDROCARBURI DEL MARE LEVANTINO**

Tesi di laurea



Candidato: Vittorio Minio

Relatore: Prof. Vittorio Scribano

**ANNO ACCADEMICO 2014-2015**

# Indice

Premessa

Introduzione

1.0 Cenni di chimica organica

2.0 Idrocarburi

2.1 Processi chimici che coinvolgono gli idrocarburi

2.2 Aspetti economici e geopolitici

3.0 Petrolio

3.1 Cenni storici

3.2 Proprietà del greggio

3.3 Caratterizzazione e classificazione del petrolio

3.4 Paesi con le maggiori riserve di petrolio

3.5 Produzione del petrolio

3.6 Esplorazione

3.7 Estrazione

3.8 Trattamento preliminare in cui si trova il giacimento.

3.9 Trasporto

3.10 Trasformazione

3.11 Prodotti derivati dal petrolio

3.12 Impatti ambientali del petrolio

4.0 Implicazioni teoriche: teoria biogenica- teoria abiotica

4.1 Teoria biogenica

4.2 Teoria abiotica

4.2.1 Storia

4.2.2 Prove a sostegno della Teoria Abiotica

4.2.3 Focalizzazione sulla Serpentinizzazione

4.2.4 Cenni sui vulcani di fango

5.0 Dalla Tetide al Mediterraneo: il caso del mar Levantino

5.1 Cenni sulla Tetide

5.2 Cenni sul Mediterraneo

5.2.1 L'obduzione della Tetide lungo la sutura di Zagros nell'Iran nord-occidentale.

5.3 Idrocarburi della Tetide nel fondo del Mediterraneo: il caso del mare di Levante e il Pozzo Zhor X1

5.3.1 Introduzione

5.3.2 Inquadramento geologico Egitto

5.3.3 Fan del Nilo

5.3.4 Eratosthenes Seamount

5.3.5 Conclusioni

6.0 Bibliografia e Sitografia

## **Premessa**

Questa tesi è LIBERAMENTE tratta da una lezione intitolata "Il petrolio della Tetide" fornitami dal relatore e costituente parte del ciclo di lezioni di " Petrologia dei Giacimenti minerali" tenuta dallo stesso e rivolte agli studenti del corso di laurea Magistrale di Scienze Geologiche.

## **Introduzione**

Sappiamo che nello scenario economico- energetico mondiale gli idrocarburi hanno assunto e continuano ad avere il ruolo predominante, nonostante le fonti di energia alternative (solare, eolica, geotermica, nucleare, idrica...) siano sempre più sviluppate e all'avanguardia. A causa dei problemi più o meno gravi legati ad alcune tipologie di energie alternative (prima fra tutte l'energia nucleare, i cui effetti possono essere veramente devastanti, -Chernobyl e Fukushima, sono due esempi tristemente noti) gli idrocarburi resistono come la fonte di energia "ad oggi" più semplice ed economica; in effetti gli idrocarburi presentano un elevato potere calorico, quantizzabile in circa 44MJ/kg per le benzine e 42-43MJ/kg per i gasoli, 50MJ/kg circa per il metano. Inoltre, gli idrocarburi liquidi presentano un'alta densità di energia per unità di volume, e ciò favorisce enormemente il loro utilizzo e il loro stoccaggio e trasporto. Come tutte le risorse naturali utilizzate copiosamente e a lungo dall'umanità, anche i giacimenti di idrocarburi sono destinate ad assottigliarsi, forse ad esaurirsi. L'ineluttabilità di questo evento ha tuttavia stimolato la comunità dei geologi a considerare scenari di ricerca del tutto inediti. In questo lavoro saranno presentati e discussi, appunto, nuovi scenari di ricerca e sfruttamento degli idrocarburi che si stanno concretizzando per lo più a partire da una visione alternativa sull'origine di questi importanti composti del carbonio.

## **1.0 Cenni di chimica organica**

Si definisce composto organico un composto in cui uno o più atomi di carbonio sono uniti tramite legame covalente ad atomi di altri elementi - principalmente idrogeno, ossigeno, azoto. Tra i pochi composti del carbonio non classificati come "organici" si annoverano gli ossidi ( $\text{CO}_2$  e  $\text{CO}$ ), i carburi, i carbonati e i cianuri. Un'altra definizione diffusa considera "organico" qualsiasi composto del carbonio in cui questo elemento abbia numero di ossidazione inferiore a +4. Sono pertanto esclusi il biossido di carbonio, l'acido carbonico e i suoi sali, ovvero i bicarbonati e i carbonati. Anche il monossido di carbonio, benché abbia un carbonio con numero di ossidazione inferiore a +4 e quindi possa essere incluso nella definizione, è considerato un composto inorganico. In generale i composti organici sono costituiti da uno scheletro di carbonio e idrogeno legante qualche eteroatomo che può essere: ossigeno, azoto, zolfo, fosforo, silicio. Nelle strutture di questi composti si trovano dei gruppi ricorrenti di atomi e legami che conferiscono alla molecola proprietà e reattività tipiche. Tali gruppi vengono detti gruppi funzionali e i composti vengono suddivisi in classi a seconda del gruppo o dei gruppi che la molecola presenta: tra questi ricordiamo gli idrocarburi.

## **2.0 Idrocarburi**

Gli idrocarburi sono composti organici che contengono soltanto atomi di carbonio e di idrogeno. Gli atomi di carbonio (C) sono legati tra loro a formare lo scheletro della molecola, mentre gli atomi di idrogeno (H) sporgono da questo scheletro. Gli idrocarburi sono l'unica categoria di composti organici privi del gruppo funzionale, sono infatti composti solamente da atomi di idrogeno e carbonio. All'aumentare del numero di atomi di carbonio presenti nella catena idrocarburica aumenta il numero di composti idrocarburici possibili. La catena più corta possibile è composta da un solo atomo di carbonio, a cui corrisponde il metano, avente formula bruta  $\text{CH}_4$ . Gli idrocarburi aventi due atomi di carbonio sono tre:

- l'etano, di formula  $\text{C}_2\text{H}_6$
- l'etene (o etilene),  $\text{C}_2\text{H}_4$
- l'etino (o acetilene),  $\text{C}_2\text{H}_2$ .

A seconda dei tipi di legame C-C presenti nella molecola (singolo, doppio o triplo) e della loro geometria (lineare, ramificata, ciclica), gli idrocarburi alifatici si dividono inoltre in:

1) idrocarburi saturi: con soli legami singoli C-C

-alcani (o paraffine): idrocarburi saturi non ciclici, cioè aventi una catena non chiusa su sé stessa; hanno formula generale  $C_nH_{2n+2}$ . A loro volta possono essere lineari o ramificati, a seconda che gli atomi di carbonio si susseguano in maniera continua o con biforcazioni

-cicloalcani: idrocarburi saturi ciclici, aventi formula generale  $C_nH_{2n}$

-bicicloalcani: idrocarburi saturi costituiti da due catene cicliche contigue

-alchilcicloalcani: idrocarburi saturi costituiti da una catena idrocarburica ciclica legata ad una catena non ciclica)

2) idrocarburi insaturi: contengono almeno un legame C-C multiplo (cioè doppio o triplo). I legami formati da due o più atomi presenti nella catena del carbonio che costituisce lo scheletro della molecola hanno geometria trigonale perché sono ibridati  $sp^3$ , oppure hanno geometria lineare perché sono ibridati  $sp$ ; nello scheletro della molecola è presente almeno un doppio legame,  $\sigma + \pi$ ;

-alcheni (o olefine): non ciclici e con un legame doppio  $C=C$ , aventi formula generale  $C_nH_{2n}$

-dieni (o alcadieni), trieni (o alcatrieni), polieni: non ciclici e aventi rispettivamente due, tre o molti legami -doppi  $C=C$

-cicloalcheni: ciclici, con un legame doppio  $C=C$ , aventi formula generale  $C_nH_{2n-2}$

-alchini: non ciclici e con un legame triplo  $C\equiv C$ , aventi formula generale  $C_nH_{2n-2}$

-cicloalchini: ciclici, con un legame triplo, aventi formula generale  $C_nH_{2n-4}$

Gli idrocarburi alifatici ciclici sono detti idrocarburi aliciclici.

A seconda del tipo di struttura, gli idrocarburi aromatici si possono dividere in:

-benzene e derivati

-idrocarburi aromatici polinucleati (o "policiclici")

In generale per gli alcani aciclici, quelli con peso molecolare simile hanno proprietà chimico-fisiche simili. Esistono in natura varie miscele di idrocarburi, con caratteristiche chimico-fisiche intermedie fra una categoria e l'altra.

Lo stato di aggregazione degli idrocarburi (a temperatura e pressione ambiente) dipende dal loro peso molecolare: gli idrocarburi aventi peso molecolare minore (ad esempio metano, etano, propano) si trovano allo stato gassoso, quelli con peso molecolare più elevato (ad esempio benzene, esano e ottano) sono liquidi e quelli aventi peso molecolare ancora più elevato sono solidi cerosi. Bombole contenenti GPL, una miscela di idrocarburi normalmente gassosi mantenuti allo stato liquido dalle elevate pressioni in cui si trovano. Spesso gli idrocarburi che a temperatura e pressione sono sotto forma di gas vengono mantenuti all'interno di recipienti in pressione (ad esempio in bombole), in modo da conservarli in volumi più ristretti. Infatti, a parità di temperatura e quantità di sostanza, all'aumentare della pressione diminuisce il volume occupato da un gas (come deducibile dall'equazione di stato dei gas perfetti o da altre equazioni di stato), finché esso passa (in parte o in toto) allo stato liquido. Ad esempio le comuni "bombole del gas" utilizzate in ambito domestico contengono una miscela liquida di idrocarburi (nota come GPL) che si trovano gassosi a temperatura e pressione ambiente.

Gli idrocarburi ciclici formati da meno di sei atomi di carbonio sono particolarmente instabili a causa della piccolezza dell'anello, che si traduce in una elevata tensione d'anello (o "tensione angolare"), ovvero un'elevata energia immagazzinata nella molecola che tende ad aprire l'anello. In generale gli idrocarburi saturi, benché siano facilmente infiammabili e quindi reagiscano facilmente con l'ossigeno, hanno una relativa inerzia chimica; per tale motivo sono stati denominati originariamente paraffine (dal latino *parum affinis*, "poco reattivo"). Gli idrocarburi contenenti insaturazioni hanno altre proprietà, dovute ai doppi o tripli legami e sono chimicamente più reattivi nelle posizioni contenenti il doppio o triplo legame o immediatamente adiacenti ad esse. Gli idrocarburi aromatici formano una classe a sé per stabilità ed hanno una reattività chimica generalmente inferiore a quella degli idrocarburi alifatici.

Le molecole degli alcani e dei cicloalcani sono apolari, in quanto, anche se il legame covalente C-H è polarizzato, la differenza di elettronegatività è piuttosto bassa (0,4) e la struttura tetraedrica porta a una distribuzione della carica nelle molecole complessivamente simmetrica. Le considerazioni sulla loro

struttura molecolare trovano conferma nelle prove di solubilità: gli alcani sono praticamente insolubili in acqua, mentre si sciolgono nei solventi apolari.

Moltissimi idrocarburi derivano dal processo di raffinazione del petrolio, che consiste in un insieme di processi chimico-fisici che hanno lo scopo di ottenere determinati prodotti chimici (miscele combustibili, asfalto, lubrificanti, ecc.) a partire dal greggio. Tra i vari processi impiegati nella raffinazione, la distillazione del greggio (o "topping") riveste un ruolo fondamentale. Nella colonna di distillazione il greggio viene separato in più "tagli", a seconda del peso molecolare (o a volere essere più precisi, della volatilità) degli idrocarburi che costituiscono il taglio in questione. Ogni taglio viene individuato dal numero di atomi di carbonio che sono contenuti nelle molecole del taglio in questione. Ad esempio il taglio C<sub>4</sub> contiene idrocarburi che hanno quattro atomi di carbonio (come ad esempio il butano, il butene e i loro isomeri). Questo perché è molto più difficile separare per mezzo della sola distillazione molecole idrocarburiche che abbiano pesi molecolari vicini o addirittura identici. Ciò riflette il fatto che idrocarburi simili (cioè appartenenti alla stessa serie omologa) hanno proprietà chimico-fisiche simili tra loro.

### **2.1 Processi chimici che coinvolgono gli idrocarburi**

Gli idrocarburi sono una classe talmente ampia di composti che è impossibile citare tutte le reazioni in campo industriale nelle quali possono essere coinvolti. Tra le moltissime reazioni che coinvolgono gli idrocarburi, si annoverano le seguenti:

- cracking: è un processo chimico industriale rivolto alla formazione di paraffine a basso peso molecolare a partire da paraffine ad elevato peso molecolare;
- reforming catalitico: è un processo che mira ad ottenere un prodotto avente un numero di ottano più elevato. A partire da paraffine si ha formazione di olefine, aromatici, isomeri ramificati e molecole a catena più corta;
- polimerizzazione: si sfrutta per l'ottenimento di polimeri, ovvero molecole aventi pesi molecolari elevatissimi; polimeri di natura idrocarburica sono ad esempio il polietilene e il polipropilene.

### **2.2 Aspetti economici e geopolitici**

Tutti gli idrocarburi assumono un'enorme importanza nell'economia e nella geopolitica moderne, principalmente grazie al loro ruolo fondamentale come fonte d'energia e per le vastissime applicazioni di tipo industriale.

### **3.0 Petrolio**

Il petrolio (dal termine tardo latino petroleum, composto di petrae, "della roccia", e oleum, "olio", cioè "olio di roccia"), anche detto oro nero, è un liquido infiammabile, viscoso, di colore che può andare dal nero al marrone scuro, passando dal verdognolo fino all'arancione, che si trova in alcuni giacimenti dentro gli strati superiori della crosta terrestre. È detto greggio o grezzo il petrolio così come viene estratto dai giacimenti, cioè prima di subire qualsiasi trattamento teso a trasformarlo in successivi prodotti lavorati. Quasi sempre ha una massa volumica inferiore a quella dell'acqua. È composto da una miscela di vari idrocarburi, sostanze formate solo da idrogeno e carbonio (in prevalenza alcani, ma con variazioni nell'aspetto, nella composizione e nelle proprietà fisico-chimiche).

### **3.1 Cenni storici**

Il petrolio accompagna la storia dell'uomo da secoli: la parola greca naphtha fu utilizzata inizialmente per indicare il fiammeggiare tipico delle emanazioni petrolifere. I popoli dell'antichità conoscevano i giacimenti di petrolio superficiali, che utilizzavano per produrre medicinali (con funzioni lenitive e lassative) e bitume o per alimentare le lampade. Non mancarono anche gli usi bellici del petrolio: già nell'Iliade, Omero narra di un "fuoco perenne" lanciato contro le navi greche. Il "fuoco greco" dei bizantini era un'arma preparata con petrolio, una miscela di olio, zolfo, resina e salnitro, che non poteva essere spenta dall'acqua; questa miscela era cosparsa sulle frecce o lanciata verso le navi nemiche per incendiarle. Il petrolio era conosciuto anche nell'antico Medio Oriente. Marco Polo, ne Il Milione, parla del petrolio con le seguenti parole:

« Ancor vi dico che in questa Grande Erminia (Armenia) è l'arca di Noè in su una grande montagna, ne le confine di mezzodie in verso il levante, presso al reame che si chiama Mosul, che sono cristiani, che sono iacopini e nestarini (nestoriani), delli quali diremo inanzi. Di verso tramontana confina con Giorgens (l'attuale Georgia), e in queste confine è una fontana, ove surge tanto olio e in tanta abbondanza che 100 navi se ne caricherebbero a la volta. Ma non è buono a mangiare, ma sì da ardere, e buono da rognare[3] e d'altre cose; e per tutta quella contrada non s'arde altr'olio. » (Marco Polo, Il Milione).

Il petrolio venne introdotto in Occidente soprattutto come medicinale, in seguito all'espansionismo arabo. Le sue doti terapeutiche si diffusero con grande rapidità e alcune fonti d'olio a cielo aperto, come l'antica Blufi (santuario della "Madonna dell'olio") e Petralia in Sicilia, divennero noti centri termali dell'antichità. Il termine "petrolio" venne adottato per la prima volta nel 1556 in un trattato del mineralogista tedesco Georg Bauer. L'industria petrolifera nacque negli anni 1850 negli Stati Uniti (nei pressi di Titusville, Pennsylvania), per l'iniziativa di Edwin Drake. Il 27 agosto 1859 venne aperto il primo pozzo petrolifero redditizio del mondo. L'industria crebbe lentamente durante il 1800 e non diventò di interesse nazionale (USA) fino agli inizi del ventesimo secolo; l'introduzione del motore a combustione interna fornì la domanda che ha poi largamente sostenuto questa industria. I primi piccoli giacimenti "locali" in Pennsylvania e in Ontario sono stati velocemente esauriti, portando ai "boom petroliferi" in Texas, Oklahoma, e California. Altre nazioni avevano considerevoli riserve petrolifere nei loro possedimenti coloniali, e incominciarono ad utilizzarli a livello industriale. Sebbene negli anni cinquanta il carbone fosse ancora il combustibile più usato nel mondo, il petrolio cominciò a soppiantarlo. Agli inizi del ventunesimo secolo circa il 90% del fabbisogno di combustibile è coperto dal petrolio. In conseguenza della crisi energetica del 1973 e della crisi energetica del 1979 si è sollevato l'interesse nella pubblica opinione sui livelli delle scorte di petrolio, portando alla luce la preoccupazione che essendo il petrolio una risorsa limitata essa sia destinata ad esaurirsi (almeno come risorsa economicamente sfruttabile). Il prezzo di un barile di petrolio è aumentato, dagli 11 dollari del 1998 a circa 147, per poi ripiegare (a causa della recessione globale, ma anche delle "prese di beneficio" degli speculatori), fino a 45 nel dicembre 2008. In seguito le quotazioni del greggio hanno ripreso a crescere per installarsi solidamente al di sopra dei 100 dollari nel marzo 2011. Data l'elevata volatilità del prezzo di un barile, l'OPEC ha preso in valutazione di tagliare la produzione per far aumentare i costi dell'oro nero (per fare un esempio: se un barile aumenta di un dollaro, negli Emirati Arabi Uniti arrivano oltre 100 milioni di dollari di guadagni. Tuttavia il re dell'Arabia Saudita 'Abd Allāh si è detto disponibile ad aumentare l'estrazione di petrolio per riportarlo ad un prezzo ragionevole. Il valore del petrolio come fonte di energia trasportabile e facilmente utilizzabile, usata dalla maggioranza dei veicoli (automobili, camion, treni, navi, aeroplani) e come base di molti prodotti chimici industriali, lo rende dall'inizio del XX secolo una delle materie prime più importanti del mondo. L'accesso al petrolio è stato uno dei principali fattori scatenanti di molti conflitti militari, compresi la Seconda guerra mondiale e la guerra del Golfo. La maggior parte delle riserve facilmente accessibili è collocata nel Medio Oriente, una regione politicamente instabile. Esistono e sono continuamente allo studio fonti alternative e rinnovabili di energia, sebbene la misura in cui queste possano rimpiazzare il petrolio e i loro eventuali effetti negativi sull'ambiente siano attualmente oggetto di dibattito.

### 3.2 Proprietà del greggio

Il greggio è un liquido viscoso di colore variabile dal giallo chiaro al marrone scuro o verdastro, e nella sua quasi totalità la sua densità relativa è inferiore a 1, cioè ha un peso specifico minore dell'acqua. Il colore risulta essere più scuro nei greggi che contengono idrocarburi con peso molecolare medio più elevato. Al peso molecolare medio dei componenti sono legate anche la sua densità e la sua viscosità, in quanto più elevato risulta il peso molecolare medio più il greggio risulta denso e viscoso.

-Composizione

Dal punto di vista chimico, il greggio è un'emulsione di idrocarburi (cioè composti chimici le cui molecole sono formate da idrogeno e carbonio) con acqua ed altre impurità. È costituito principalmente da idrocarburi appartenenti alle classi degli alcani (lineari e ramificati), cicloalcani e in quantità minore idrocarburi aromatici (mono-, bi- e poli- ciclici.) Il rapporto tra queste tre tipologie di idrocarburi varia a seconda del giacimento petrolifero da cui viene estratto il petrolio: considerando una media a livello mondiale, un petrolio tipico contiene il 30% di paraffine, il 40% di nafteni, il 25% di idrocarburi aromatici,

mentre il restante 5% è rappresentato da altre sostanze; nel caso di petroli ad elevato contenuto di alcani si parla di "petroli paraffinici", mentre i petroli ad elevato contenuto di cicloalcani vengono detti "petroli naftenici". I petroli paraffinici sono più abbondanti nelle zone più profonde del sottosuolo, mentre i petroli naftenici sono più abbondanti nelle zone più vicine alla superficie. Sono presenti inoltre composti solforati (solfuri e disolfuri), azotati (chinoline) e ossigenati (acidi naftenici, terpeni e fenoli), in percentuale variabile anche se la loro percentuale in massa, complessivamente, difficilmente supera il 7%. Data l'elevata complessità di tale miscela, per definire la composizione di un particolare petrolio, anziché indicare le sostanze che lo costituiscono, spesso si preferisce indicarne la composizione elementare, che è rappresentata principalmente da carbonio e idrogeno, essendo il petrolio una miscela costituita prevalentemente da idrocarburi. In percentuale, è composto all'85% circa da carbonio, 13% circa da idrogeno e per il restante 2% circa da altri elementi. La tabella seguente mostra gli intervalli di composizione (espressi come percentuali in peso) dei singoli elementi che costituiscono tipicamente un particolare petrolio:

Elemento	min (%wt)	max (%wt)
C	79,5	88,5
H	10	15,5
altri elementi	0	5

Gli altri elementi presenti nel petrolio sono principalmente eteroatomi, quali ad esempio lo zolfo (0,05-8%wt, talvolta sotto forma di  $H_2S$ ), l'azoto (0,02-1,3%wt) e l'ossigeno (0,05-3%wt). Sono inoltre presenti atomi metallici in quantità modeste, sia combinati con i composti organici, sia in sali disciolti in tracce d'acqua (quali nichel, vanadio, molibdeno, cobalto, cromo, cadmio, piombo, arsenico e mercurio), tuttavia per la lavorazione in raffineria bisogna tenere conto della loro presenza, in quanto molti processi usano catalizzatori che vengono inibiti da tali metalli. Inoltre i prodotti finali (generalmente i tagli più pesanti come il gasolio), risultandone più "ricchi", producono maggiori ceneri e particolato.

### 3.3 Caratterizzazione e classificazione del petrolio

Esistono centinaia di petroli diversi. Essi si differenziano per i differenti rendimenti, il tenore in zolfo, in metalli pesanti ed in funzione della loro acidità. Frequentemente (ma questa non è una regola) i greggi più pesanti sono anche quelli che hanno un tenore in zolfo più elevato. È invece sistematico che per un determinato petrolio le frazioni alto-bollenti hanno un tenore in zolfo più elevato delle frazioni basso-bollenti. Da un punto di vista generale (anche se esistono delle eccezioni) i petroli che contengono una quantità più elevata di frazioni leggere sono più costosi. Un altro parametro che influenza il valore del petrolio grezzo è il contenuto in zolfo. Quest'ultimo infatti deve essere allontanato durante l'operazione di raffinazione e questa operazione di purificazione è tanto più onerosa quanto più alto è il tenore in zolfo. Altri parametri che influenzano il valore del grezzo sono la sua acidità ed il tenore in metalli pesanti, quali il vanadio. La conoscenza di questi due ultimi parametri è di grande importanza allorché si progettano impianti per la raffinazione del greggio; infatti petroli acidi o con contenuti di Vanadio elevati richiedono impianti particolarmente resistenti alla corrosione e dunque costruiti con acciai speciali. Va inoltre ricordato che a livello commerciale le varie partite di petrolio non hanno lo stesso valore commerciale. I seguenti criteri forniscono una linea guida su come distinguere un petrolio pregiato da uno scadente:

- tenore di zolfo: maggiore è la presenza di zolfo o di altri eteroatomici, più spinta sarà la relativa lavorazione con maggiori costi di esercizio d'impianto. Infatti la presenza di zolfo va limitata sia per motivazioni ambientali, sia per la salvaguardia delle parti più delicate dell'impianto;
- percentuale di benzine: a livello commerciale la benzina è il taglio più costoso e quindi più remunerativo per una azienda petrolifera; non a caso molti processi di lavorazione puntano all'aumento delle quantità e qualità delle benzine, alleggerendo i tagli pesanti (cracking) o appesantendo quelli leggeri; da questo punto di vista un petrolio ricco di benzina presenta un valore commerciale maggiore;
- densità: un petrolio più denso contiene un maggior numero di molecole condensate, ovvero i costituenti del residuo della colonna da topping; quindi sono necessarie lavorazioni più gravose in termini di temperatura (come il visbreaking), per cercare di rompere le molecole condensate e convertirle in tagli leggeri.

#### -Grado API

In ambito petrolifero si usa un'espressione particolare per esprimere la densità: il grado API.

La densità e il grado API sono correlate dalla relazione:

$$^{\circ}\text{API} = 141,5/\rho^* - 131,3$$

dove  $\rho^*$  è la densità relativa rispetto all'acqua. Da questa relazione discende che un olio della stessa densità dell'acqua presenta 10°API, se è più pesante presenta un valore minore di 10°API, mentre se è più leggero presenta un valore del grado API maggiore di 10°API. Pertanto un petrolio pregiato avrà un alto valore di grado API, maggiore di 10°API.

#### -Distillazione frazionata TBP

Non esistono due petroli identici e talvolta all'interno dello stesso giacimento la composizione tende a variare nel tempo o in funzione della localizzazione del punto di estrazione. Per questo motivo per poter caratterizzare ogni tipo di petrolio si ricorre all'operazione detta di distillazione frazionata TBP (True Boiling Point). Questa metodologia è descritta negli standard ASTM D86 e D2892, che definiscono le condizioni normalizzate per realizzare l'operazione. L'operazione è condotta prendendo una quantità predefinita di petrolio grezzo e sottoponendola a riscaldamento a pressione atmosferica. Sotto l'effetto del riscaldamento il campione di petrolio comincia ad evaporare e per prime le frazioni più leggere. I vapori di petrolio che man mano evaporano sono raffreddati, condensati e raccolti in un recipiente graduato. Le frazioni più volatili (dette basso-bollenti) sono le prime ad evaporare ed in seguito evaporano quelle meno volatili (dette alto-bollenti). Durante questa operazione di distillazione il campione di petrolio diventa progressivamente sempre meno volatile e dunque occorre riscaldare il campione a temperature sempre più elevate per poterlo distillare. L'obiettivo del test è di misurare in funzione degli intervalli di temperatura ai quali è sottoposto il campione quale è il rendimento percentuale della corrispondente frazione evaporata. Il test è interrotto quando il campione raggiunge la temperatura di 550 °C, perché a questa temperatura intervengono delle reazioni di cracking che modificano la natura chimica delle molecole. Il volume che resta a 550 °C è detto residuo. I risultati del test TBP sono di notevole interesse perché permettono di caratterizzare i diversi tipi di petrolio. Questo è essenziale per poterne definire il valore di mercato e per poter prevedere quali saranno i rendimenti quando il grezzo petrolifero arriva in raffineria per essere raffinato. È importante tenere presente che questi tagli petroliferi sono il risultato della sola operazione di distillazione e che in raffineria molteplici altre operazioni sono condotte per produrre prodotti di uso finale. In effetti le frazioni risultanti dall'operazione di distillazione non sono pronte per l'uso e richiedono ulteriori stadi di lavorazione.

### 3.4 Paesi con le maggiori riserve di petrolio

Qui di seguito sono elencati i primi 20 paesi per riserve certe di petrolio dell'ottobre 2013.

Per vita media residua si intende la stima della durata delle riserve ai ritmi di estrazione dell'anno 2013.

N°	Paese	Milioni di <u>barili (bbl)</u>	% sul totale	Vita media residua
1	<a href="#">Venezuela</a>	296.500	17,9%	ND
2	<a href="#">Arabia Saudita</a>	265.500	16,1%	61,8
3	<a href="#">Canada</a>	175.200	10,6%	ND
4	<a href="#">Iran</a>	151.200	9,1%	93,1
5	<a href="#">Iraq</a>	143.100	9,1%	ND
6	<a href="#">Kuwait</a>	101.500	6,1%	94,6
7	<a href="#">Emirati Arabi Uniti</a>	97.800	5,9%	78,7
8	<a href="#">Russia</a>	88.200	5,3%	21,5
9	<a href="#">Libia</a>	47.100	2,9%	ND



10	<a href="#">Nigeria</a>	37.200	2,3%	39,0
11	<a href="#">Stati Uniti</a>	30.900	1,9%	9,5
12	<a href="#">Kazakistan</a>	30.000	1,8%	42,2
13	<a href="#">Qatar</a>	24.700	1,5%	34,8
14	<a href="#">Brasile</a>	15.100	0,9%	14,6
15	<a href="#">Cina</a>	14.700	0,9%	7,5
16	<a href="#">Angola</a>	13.500	0,8%	18,6
17	<a href="#">Algeria</a>	12.200	0,7%	16,7
18	<a href="#">Messico</a>	11.400	0,7%	8,1
19	<a href="#">Azerbaijan</a>	7.000	0,4%	18,9
20	<a href="#">Norvegia</a>	6.900	0,4%	6,4
	Resto del mondo	81.200	6,1%	*
	<b>Totale</b>	<b>1.652.600</b>	<b>100%</b>	<b>51,8</b>
46	<a href="#">Italia</a>	1.400	0,1%	31,9

I volumi si riferiscono alle riserve certe. Sono escluse le stime ufficiali delle sabbie bituminose canadesi (pari a circa 143.300 milioni di barili) relative ai progetti oggetto di sviluppo attivo, ai liquidi separati dal gas naturale (detti NGL, dall'inglese "Natural Gas Liquids") e ai liquidi condensati dai gas naturali (in inglese "gas condensate").

### 3.5 Produzione del petrolio

Il ciclo produttivo del petrolio e dei prodotti derivati dal petrolio attraversa differenti fasi produttive, raggruppate tradizionalmente in tre insiemi di processi:

- upstream: comprende l'insieme delle procedure da svolgere allo scopo di ricavare il petrolio greggio dal sottosuolo; le principali procedure di upstream sono: la ricerca del giacimento (esplorazione), la predisposizione di pozzi per il sollevamento del petrolio (perforazione) e il processo di sollevamento del petrolio dal sottosuolo (estrazione);
- midstream: comprende le procedure relative al trasporto del petrolio dal sito di estrazione al sito di raffinazione e lo stoccaggio del petrolio;
- downstream: comprende i processi di trasformazione del petrolio (raffinazione) allo scopo di ottenere i prodotti derivati destinati al commercio e la loro distribuzione e vendita.

Siccome assieme al petrolio dai giacimenti viene prelevato anche gas naturale, le tre fasi sono riferite al ciclo produttivo del gas naturale. In particolare i processi di upstream sono finalizzati all'ottenimento di entrambe le materie prime (petrolio e gas naturale), mentre i processi di midstream e downstream sono diversificati a seconda che siano riferiti al petrolio o al gas naturale.

### 3.6 Esplorazione

La fase di esplorazione rappresenta la fase di ricerca dei giacimenti di petrolio, finalizzata alla sua estrazione. Tale ricerca viene svolta in genere attraverso prospezione geofisica, che consiste in un'indagine delle proprietà fisiche del sottosuolo da cui è possibile determinare la presenza di particolari disomogeneità delle proprietà del terreno, associate alla presenza di trappole strutturali o altre strutture di accumulo di idrocarburi.

### 3.7 Estrazione

Alla fase di esplorazione segue la fase di estrazione del petrolio. L'estrazione avviene attraverso la costruzione di apposite torri di perforazione o trivellazione (dette derrick), che nel caso di impianti off-

shore (cioè in corrispondenza delle aree marine) sono posizionate su una piattaforma petrolifera. In genere il deposito di petrolio che impregna le rocce porose si trova ad elevata pressione, per cui risale spontaneamente attraverso il pozzo petrolifero, mentre negli altri casi è necessario utilizzare delle pompe petrolifere per sollevarlo; tali pompe possono essere utilizzate anche quando il petrolio risale spontaneamente, in modo da velocizzarne ulteriormente la risalita. Quando il pompaggio del petrolio in superficie risulta più gravoso, è possibile aumentare la pressione all'interno del giacimento iniettando negli strati del giacimento gas o acqua.

### **3.8 Trattamento preliminare**

Abitualmente il greggio viene sottoposto ad un primo trattamento direttamente sul posto in cui viene estratto dal sottosuolo. L'acqua e le componenti minerali sono le prime ad essere separate, prima di inviare il petrolio alla raffinazione, principalmente tramite distillazione o metodi gravitativi, cicloni, ecc. L'acqua separata solitamente ha un certo contenuto di sali disciolti (principalmente cloruro di sodio) e non è utilizzabile per scopi agricoli, industriali o civili, quindi quasi sempre viene reiniettata nel sottosuolo entro l'acquifero del giacimento, per mantenerne la pressione e quindi tenere stabile la produzione petrolifera, oppure in livelli rocciosi permeabili, che quindi l'assorbono facilmente, individuati nel sistema geologico in cui si trova il giacimento.

### **3.9 Trasporto**

Successivamente all'estrazione, il petrolio viene trasportato per mezzo di oleodotti o petroliere fino al sito in cui verrà svolta la raffinazione. Ciascuna petroliera può trasportare una quantità di petrolio che varia in genere da 100 mila a 3 milioni di barili. Nel caso di trasporto via terra, si può pompare il petrolio attraverso gli oleodotti oppure è possibile utilizzare dei vagoni ferroviari progettati appositamente per tale uso.

### **3.10 Trasformazione**

Dopo il processo di estrazione, il petrolio viene trasportato verso stabilimenti (raffinerie di petrolio), dove avvengono le operazioni di trasformazione che permettono di produrre a partire dal greggio petrolifero una serie di prodotti di uso comune. Le operazioni attraverso le quali il greggio petrolifero viene trasformato sono molteplici e di diversa natura. A grandi linee, il processo di raffinazione può essere suddiviso in tre fasi principali:

- separazione fisica dei componenti che costituiscono il petrolio ottenendo più tagli;
- processi chimici per il miglioramento qualitativo dei tagli ottenuti;
- purificazione dei prodotti finali.

Scendendo più nel particolare, le principali lavorazioni sono:

decantazione, e separazione dell'acqua;

- dissalazione;
- distillazione atmosferica (detta anche topping);
- distillazione sotto vuoto (detta anche vacuum);
- reforming;
- desolforazione (per eliminare lo zolfo, che altrimenti sarebbe rilasciato sotto forma di SO<sub>x</sub>, particolarmente inquinanti);
- cracking, alchilazione, isomerizzazione.

La tabella seguente indica, orientativamente, gli intervalli di temperature di ebollizione delle frazioni di distillazione del petrolio (a pressione atmosferica, in gradi Celsius), detti anche tagli petroliferi:

Prodotto petrolifero	Temperatura di ebollizione (°C)	Utilizzi
benzina	-1 ÷ 180	combustibile per motori
bitume, asfalto	frazioni rimanenti	pavimentazione stradale
butano	-12 ÷ 1	utilizzato per aumentare la volatilità della benzina
cherosene	205 ÷ 260	Combustibile
etere di petrolio	0 ÷ 70	solvente
gasolio leggero	260 ÷ 315	carburante per motori Diesel / riscaldamento
gasolio pesante	315 ÷ 425	materia prima per cracking catalitico
metano e altri gas combustibili	-160 ÷ -40	combustibili di raffineria
nafta leggera	-1 ÷ 150	componente di combustibile per automobili
nafta pesante	150 ÷ 205	materia prima per il reforming, combustibile per jet
olio lubrificante	> 400	olio per motori
propano	-40	Gas di petrolio liquefatti (combustibile per autotrazione o per riscaldamento)

Ogni taglio petrolifero è costituito da molecole di lunghezza comparabile. Poiché l'operazione di distillazione non può essere perfetta, ogni taglio petrolifero contiene un po' del taglio più leggero ed un po' del taglio più pesante. Per questo motivo gli intervalli di ebollizione di un taglio "ricoprono" parzialmente quelli del taglio immediatamente più leggero ed immediatamente più pesante. I gas che si formano nelle varie parti di impianto (metano, etano, propano e butano) vengono raccolti ed usati per produrre energia per il funzionamento della raffineria o valorizzati come prodotti finiti. Il taglio che costituisce la benzina dovrà subire varie lavorazioni, in quanto la benzina da topping presenta uno scarso numero di ottano, pertanto si ricorre ai processi di isomerizzazione, reforming. La parte pesante viene inviata al vacuum per recuperare i combustibili liquidi rimasti nel fondo della colonna da topping:

- cracking catalitico, hydrocracking e visbreaking per aumentare ulteriormente la resa in combustibili liquidi;
- alchilazione (per convertire parte dei gas in benzina);
- delayed coking (produzione di coke).

Vi sono poi altre lavorazioni per recuperare le paraffine e le cere (vasellina), usate anche nella cosmetica. Lo scarto finale costituisce il bitume che, opportunamente miscelato con pietrisco fine e sabbia, è utilizzato per la pavimentazione stradale. Nel novero dei prodotti di raffineria rientra anche lo zolfo ottenuto dal processo di desolforazione. Va infine ricordato che il petrolio (nel taglio della virgin nafta) è anche materia prima per l'industria petrolchimica per la produzione di plastiche. I prodotti finali del processo di

trasformazione includono dunque: GPL, benzina, cherosene, gasolio, oli lubrificanti, bitumi, cere e paraffine.

### **3.11 Prodotti derivati dal petrolio**

Le catene molecolari nell'intervallo di C5-7 sono nafta leggere ed evaporano facilmente. Vengono usate come solventi, fluidi per pulizia a secco e altri prodotti ad asciugatura veloce. Le benzine sono composte da catene ramificate nell'intervallo da C6 a C9. Il cherosene è composto da catene nell'intervallo da C10 a C15, seguito dal combustibile per i motori diesel e per riscaldamento (da C10 a C20) e da combustibili più pesanti, come quelli usati nei motori delle navi. Questi prodotti derivati del petrolio sono liquidi a temperatura ambiente. Gli oli lubrificanti e i grassi semi-solidi (come la vaselina) sono posizionati nell'intervallo da C16 fino a C20. Le catene da C20 in avanti sono solidi a temperatura ambiente e comprendono la paraffina, poi il catrame e il bitume per asfalto.

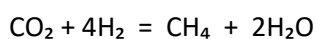
### **3.12 Impatti ambientali del petrolio**

La presenza dell'industria petrolifera ha significativi impatti sociali e ambientali derivati da incidenti e da attività di routine come l'esplorazione sismica, perforazioni e scarti inquinanti. L'estrazione petrolifera è costosa e spesso danneggia l'ambiente. La ricerca e l'estrazione di petrolio offshore disturbano l'ambiente marino circostante. L'estrazione può essere preceduta dal dragaggio, che danneggia il fondo marino e le alghe, fondamentali nella catena alimentare marina. Il greggio e il petrolio raffinato che fuoriescono da navi petrolifere incidentate, hanno danneggiato fragili ecosistemi in Alaska, nelle Isole Galapagos, in Spagna e in molti altri luoghi. Infine, la combustione, su tutto il pianeta, di enormi quantità di petrolio (centrali elettriche, mezzi di trasporto) risulta essere tra i maggiori responsabili dell'incremento riscontrato delle percentuali di anidride carbonica e di altri gas nell'atmosfera, incidendo sull'aumento dell'effetto serra.

## **4.0 Implicazioni teoriche: teoria biogenica- teoria abiotica**

### **4.1 Teoria biogenica**

Secondo la visione "classica", le origini degli idrocarburi sono strettamente legate alla materia biologica. Fu il russo Lomonosov nel XVIII secolo il primo a sostenere questa teoria che fu successivamente abbracciata Alfred E. Treibs, il quale per primo nel 1930 riscontrò l'analogia fra una molecola trovata nel petrolio e la molecola della clorofilla che è notoriamente associata a processi biologici. Ancora oggi questa teoria gode di numerosi assenti nella comunità scientifica, e gli oli sono per opinione comune derivati dall'accumulo di una biomassa che centinaia di milioni di anni fa, in particolare durante il paleozoico, popolava abbondantemente i mari. Affinché questo accumulo sia fruttuoso sono però necessarie numerose condizioni ad contorno: ambienti prevalentemente d'acqua marina, salmastra o dolce, in grado di ricevere il contributo di materia organica terrestre e ricca di sostanze nutritive capaci di alimentare un'abbondante vita marina; una subsidenza accentuata e continua concomitante con un abbondante apporto argilloso che favoriscano la conservazione della materia organica. Queste due caratteristiche principali trovano unione nelle zone deltizie, lagunari ed, in generale, le zone di transizione da un ambiente neritico ad acque relativamente profonde. È necessario inoltre che le acque del fondo siano povere di ossigeno, cioè prevalgano le condizioni riducenti. In ambiente subaereo infatti la conservazione della materia organica è pressoché impossibile poiché questa viene degradata dai processi di ossidazione chimica e biologica in tempi molto più brevi. In particolare la teoria biogenica si suddivide in 2 categorie: l'ipotesi batteriogenica e l'ipotesi termogenica. La prima detta anche metanogenesi consiste nella produzione di metano ad opera di batteri anaerobi che tramite respirazione "anaerobica" causano una fermentazione della materia organica, producendo CO<sub>2</sub> che interagendo con l'idrogeno molecolare può formare "CH<sub>4</sub>" detto metano biogenico.



La quale comunque nonostante sia accertata, non può essere evocata né per giustificare grandi giacimenti e in ogni caso comprova esclusivamente giacimenti gassosi. L'ipotesi che però più ampiamente accoglie i consensi del pubblico è quella di formazione per termogenesi. Questa ipotesi prevede innanzitutto la

deposizione e decomposizione in ambiente anossico, dove le molecole di origine biologica, alla fine del processo, tendono a ridurre il loro stato di ossidazione. Il punto di arrivo della trasformazione putrefattiva di ciascuno degli elementi che costituiscono i tessuti viventi (carbonio, idrogeno, ossigeno, azoto, zolfo e fosforo) è la loro forma idrogenata. L'elemento lega cioè solo con atomi di idrogeno. L'ipotesi prevede che in primo luogo, la materia biologica così accumulata, formi una complessa miscela di sostanze ad alto peso molecolare detta kerogene, grazie all'azione di batteri polimerizzanti. Se in seguito gli strati contenenti il kerogene sprofondano ulteriormente, verranno sottoposti a condizioni di temperatura e pressione via via crescenti, che in un determinato intervallo di temperature (60°-150°), noto come "finestra dell'olio", porta alla formazione vera e propria degli idrocarburi liquidi. Questo processo che interessa il kerogene viene detto cracking termico e consiste in un processo di frammentazione da un idrocarburo macromolecolare (il kerogene appunto) a idrocarburi via via più semplici, fino ad arrivare alla formazione di metano (l'idrocarburo più semplice CH<sub>4</sub>) se le temperature sono molto elevate (McGraw-Hill, 2006). Queste visioni vedono però oggi delle valide concorrenti nelle ipotesi di formazione abiogenica. Ed in particolare le due teorie più stimate sono la teoria abiogenica per serpentinizzazione di rocce femiche per reazione di "Fischer-Tropsch" e la teoria "russo-ucraina".

## 4.2 Teoria abiotica

La teoria dell'origine abiotica del petrolio (sinonimi: abiogenica, abissale, endogena, giovanile, minerali, primordiale) è una teoria secondo la quale il petrolio si è formato da processi non biologici in profondità nel mantello e nella crosta terrestre. Questo contraddice la visione tradizionale secondo la quale il petrolio è un combustibile fossile, prodotto dai resti di antichi organismi. Il petrolio è una miscela idrocarburea nella quale può essere disciolta una gran quantità di metano CH<sub>4</sub> (molecola formata da un atomo di carbonio legato a quattro atomi di idrogeno). La presenza di metano è comune nella Terra ed è un possibile indice della formazione di idrocarburi a grandi profondità, alta pressione e temperatura.

### 4.2.1 Storia

L'ipotesi dell'origine abiotica del petrolio risale al XIX secolo, quando il chimico francese Marcellin Berthelot e il chimico russo Dmitri Mendeleev proposero le loro teorie sull'origine del petrolio. Fu poi ripresa negli anni '50 del XX secolo. L'idea alla base della teoria abiotica è in contrasto con il postulato dell'esaurimento del petrolio (secondo il quale si raggiungerebbe prima o poi un picco di produzione del petrolio, o peak oil, in seguito al quale la produzione non potrebbe che diminuire): partendo dall'ipotesi che il petrolio sarebbe costituito da processi biologici, la teoria biotica ne deduce infatti la scarsità. Secondo la teoria abiotica, invece, gli idrocarburi sarebbero abbondanti nel pianeta, ma la loro ricerca per la scoperta ed accumulazione commerciali non è semplice, perché bisogna passare attraverso la comprensione dei settori della geologia e, in particolare, capire la vera natura del petrolio. L'ipotesi che il petrolio sia stato formato dai detriti e resti organici sepolti era stata originariamente proposta dallo scienziato russo Mikhail Lomonosov, nel 1757. Però, la teoria abiotica propone che profondi giacimenti di petrolio siano rimasti intrappolati durante la formazione del pianeta. A centinaia di chilometri di profondità le molecole di idrocarburi (soprattutto metano) migrano dal mantello verso la crosta e si verifica la complessazione di queste molecole. Questa migrazione di gas primordiale, come l'elio e l'azoto, può essere presente insieme. La presenza di molecole biologiche associate con l'olio è strettamente legata alla contaminazione da microrganismi (batteri). Quasi tutti gli idrocarburi, che sono la principale componente chimica del petrolio, sarebbero generati in gran profondità mediante processi non-biologici e, pertanto, i depositi di olio negli strati più superficiali nella crosta rappresenterebbero semplicemente uno spostamento dell'olio dal suo ambiente originario di formazione, cioè il mantello della Terra, a livelli più superficiali (crosta terrestre) dove la pressione è più bassa. Una variante della teoria abiotica suggerisce che il petrolio si formi attraverso le reazioni di sintesi Fischer-Tropsch da serpentinizzazioni del mantello peridotitico attraverso reazioni di idrolisi; la produzione di idrogeno che reagisce con altri composti del carbonio (metano) o carbonati produrrebbe idrocarburi che successivamente migrerebbero verso livelli più superficiali. Il geologo russo Nikolai Alexandrovitch Kudryavtsev è stato il primo a proporre la moderna teoria del petrolio abiotico, nel 1951. Ha esaminato la geologia delle sabbie bituminose di Athabasca presso Alberta, Canada (Athabasca Tar Sands) e ha concluso che nessuna "roccia madre" potrebbe costituire l'enorme volume di petrolio trovato in quelle sabbie bituminose (attualmente stimato in circa 1,7 miliardi di barili) e quindi la

spiegazione più plausibile è che il petrolio sia abiotico, abiogenico, inorganico, e che provenga da grandi profondità all'interno della Terra attraverso profonde faglie geologiche. La teoria abiotica russo-ucraino del petrolio, sulla base di calcoli termodinamici, è stata avviata dallo scienziato professore Emmanuil B. Chekaliuk (1967), i cui studi hanno dimostrato che l'olio proviene da gran profondità ed è prodotto a pressioni e temperature elevate nel mantello della Terra, senza la partecipazione di carbonio di origine organica (vegetali o animali). Questa teoria è supportata da diversi studi sperimentali di laboratorio condotti negli Stati Uniti dal Dott. J.F. Kenney e da altri scienziati russi. Kudryavtsev ha lavorato con altri brillanti scienziati: Petr N. Kropotkin, Vladimir B. Porfir'ev, Emmanuil B. Chekaliuk, Vladilen A. Krayushkin, Georgi E. Boyko, Georgi I. Voitov, Grygori N. Dolenko, Iona V. Greenberg, Nikolai S. Beskrovny, Victor F. Linetsky e molti altri. L'astrofisico Thomas Gold è stato uno dei più importanti difensori della teoria abiotica in occidente. Egli sostiene che il petrolio sia una sostanza primaria, formata a grandi profondità all'interno della Terra e degli altri pianeti (principalmente sotto forma di metano). L'aumento del metano, a volte con elio e azoto, raggiungendo livelli più superficiali della crosta terrestre, interagisce con i batteri che contaminano l'olio primario. Una delle previsioni della teoria abiotica è che in altri pianeti del sistema solare e dei suoi satelliti ci siano oceani di idrocarburi (metano, etano). Questi idrocarburi sono presenti o dalla formazione del sistema solare, o sono stati prodotti delle successive reazioni chimiche. L'Associazione americana di geologi di petrolio (AAPG) ha fatto degli incontri di lavoro esponendo questioni riguardanti l'origine del petrolio (biogenica / Abiogenica) e le conseguenze nell'esplorazione e produzione di petrolio.

#### **4.2.2 Prove a sostegno della Teoria Abiotica**

##### **-Campi petroliferi supergiganti**

Il geologo russo Nikolai Alexandrovitch Kudryavtsev è stato un importante sostenitore della teoria abiotica. Egli ha sostenuto che qualsiasi olio prodotto, in laboratorio, da piante è simile nella composizione chimica agli idrocarburi naturali del petrolio greggio. Ha presentato numerosi esempi a sostegno della sua teoria e a volte notevoli quantità di idrocarburi sono stati trovati in rocce cristalline del basamento o in sedimenti direttamente legati alla loro sovrapposizione. Egli ha citato i casi del Kansas e della California (Stati Uniti), dell'ovest del Venezuela e del Marocco. Ha inoltre indicato che i serbatoi di olio in strati sedimentari sono spesso collegati a significative fratture / faglie profonde presenti direttamente al di sotto del basamento di tali accumuli. Kudryavtsev ha introdotto una serie di altre considerazioni: a partire dalle colonne di fuoco che sono state osservate durante le eruzioni di alcuni vulcani e in particolare durante l'eruzione del Monte Merapi (Sumatra 1932), sono state studiate eruzioni di vulcani di fango che hanno rilasciato enormi quantità di metano. L'acqua, proveniente dalla bocca di alcuni vulcani di fango, presenta sostanze come lo iodio (I), bromo (Br) e boro (B) che non possono essere derivate dai classici sedimenti. I vulcani di fango sono spesso associati con vulcani di lava e in prossimità di quest'ultimi, i vulcani di fango non emettono gas combustibile, mentre a distanze maggiori, si riscontrano ingenti emissioni di metano. Inoltre Kudryavtsev notò eventi idrocarburi nelle rocce cristalline della penisola di Kola (Russia) e nelle crepe della struttura di impatto di un meteorite a Siljan in Svezia. Egli ha anche osservato, come l'enorme quantità di idrocarburi presenti nel Oil Sands dell'Athabasca (sabbie bituminose), in Canada, non è contenuta in un enorme "roccia madre" secondo principi del modello tradizionale.

##### **-Metano e idrocarburi extraterrestri**

Il Metano e molti altri idrocarburi sono stati individuati in diverse regioni del sistema solare. Il metano è una componente comune nella costruzione del cosmo e si è accumulato sulla Terra durante la sua formazione.

Un'ipotesi alternativa è quella che vedrebbe la Terra arricchita dai meteoriti. In particolare esiste una tipologia di meteoriti, dette condriti carbonacee, che non solo possono contenere il 3% in peso di carbonio ma hanno anche al loro interno molti composti organici complessi, come porfirine, aminoacidi, basi puriche e pirimidiche e acidi carbossilici. Nel 2004, la sonda Cassini-Huygens ha confermato l'abbondante presenza di idrocarburi (metano ed etano) su Titano, un satellite di Saturno. Inoltre il metano è stato rilevato su: Giove, Marte, Saturno, Giapeto, Titano, Encelado, Nettuno, Tritone, Urano, Arie, Miranda, Oberon, Titania, Umbriel, Plutone, Cometa di Halley, Cometa Hyakutake, Mezzo interstellare e polvere cosmica.

### **-Abbondanza cosmica e planetaria di carbonio**

L'elemento carbonio (C) è il quarto in ordine di abbondanza cosmologica, preceduto solo da idrogeno (H), elio (He) ed ossigeno (O). Il carbonio disponibile nella nebulosa che ha prodotto il sistema solare è stato intrappolato dentro la Terra durante la fase di accrescimento planetario. Il processo di differenziazione geochimica primario ha portato gli elementi più pesanti a concentrarsi nel nucleo: Fusione parziale dei processi in continua evoluzione del mantello, crosta, l'idrosfera e l'atmosfera. La maggior parte del carbonio primordiale è rimasta nel mantello terrestre. Secondo studi condotti dal Massachusetts Institute of Technology (MIT) è stata stimata la seguente distribuzione del carbonio sulla Terra:

-Biosfera gli oceani, l'atmosfera ....  $3,7 \times 10^{18}$

-Crosta

Carbonio organico..  $1100 \times 10^{18}$

Carbonati..  $5200 \times 10^{18}$

-Mantello...  $100000 \times 10^{18}$

### **-Formazione planetaria fredda**

Nel tardo diciannovesimo secolo, si credeva che la Terra primitiva fosse estremamente calda, completamente fusa durante la sua formazione. Oggi molti scienziati concordano su una "formazione della Terra" relativamente fredda. Recenti studi sugli zirconi antichi (risalenti a 4,4 miliardi di anni) suggeriscono che le rocce si sono formate a basse temperature, sufficienti a mantenere l'acqua liquida. La luna si sarebbe formata poco dopo questo momento.

### **-Esistenza di giacimenti di idrocarburi**

Sulla base del tasso di fuoriuscita di idrocarburi in superficie (trapelamento, infiltrazione) le riserve di petrolio dovrebbero esaurirsi in un milione di anni. Se le fonti di giacimenti di idrocarburi fossero in numero limitato, sarebbe una straordinaria coincidenza che esistano ancora oggi. Se i depositi invece si alimentassero in continuazione, la loro attuale esistenza sarebbe meno sorprendente. Dati geologici raccolti dai bacini di petrolio testimoniano come essi si formino rapidamente. Alcuni ritengono che l'origine abiotica sia inverosimile e che i giacimenti di petrolio non dovrebbero essere abbondanti come in verità sono.

### **-Depositi insoliti**

Alcuni depositi di idrocarburi si trovano in zone non contemplate dalla tradizionale teoria biogenica. Nel campo di White Tiger, Vietnam e molti settori in Russia, il petrolio e il gas naturale sono stati prodotti in giacimenti situati (così come alcuni pozzi ne dimostrano la presenza) oltre un migliaio di piedi al di sotto della parte superiore del basamento granitico.

### **-Microbi nelle profondità della Terra**

La vita microbica è stata scoperta a 4,2 km di profondità in Alaska ed a 5,2 km in Svezia. Organismi metanofili sono noti da lungo tempo e, recentemente, è stata trovata una vita microbica nel Parco dello Yellowstone degli Stati Uniti che si basa sul metabolismo dell'idrogeno per poter vivere. Altri organismi, in profondità o in ambienti caldi (batteri estremofili) continuano ad essere scoperti tuttora, come quelli che sopravvivono in ambienti stressanti come laghi con concentrazioni saline molto elevate. Proponenti della Teoria Abiotica indicano che la biosfera profonda è responsabile per i bio-marcatore presenti nel petrolio, vale a dire, in realtà, questi biomarcatori sono contaminanti organici naturali di idrocarburi.

### **-Elio**

L'associazione di elio in giacimenti di gas naturale e olio è molto comune. Mentre il  $^3\text{He}$  è un gas primordiale, anche il  $^2\text{He}$  è generato dal decadimento radioattivo di uranio. L'elio è generalmente associato con olii leggeri, spesso accompagnato da azoto e metano. Questi gas aiutano la migrazione del petrolio da livelli più profondi verso la crosta superficiale. Non esiste un processo biologico che produce elio: quindi il suo stretto rapporto con l'olio è un forte argomento a favore della teoria abiotica. Singole accumulazioni di elio sono in genere più rare e sono sempre associate con petrolio e gas naturale. Nel

campi di gas Panhandle-Hugoton, Kansas e Texas, Stati Uniti d'America, vi sono una produzione significativa di elio. Ci sono anche altri settori quali l'Algeria e la Russia con livelli significativi. Il mantenimento di elio richiede condizioni specifiche, come ad esempio una roccia estremamente efficace che agisce da sigillante sul serbatoio( in genere sale- evaporiti).

#### **-Oligoelementi, metalli associati**

Nichel (Ni), Vanadio (V), Piombo (Pb), Arsenico (As), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Cobalto (Co), Cromo (Cr), e altri metalli sono spesso trovati nel petrolio, soprattutto nichel e vanadio. Alcuni oli pesanti, come quelli di alcuni giacimenti di petrolio del Venezuela, contengono sino al 45% di vanadio (pentossido) . Questi metalli e loro sono paragenesi sono comuni nel mantello della Terra: infatti questi oligoelementi sono anche chiamati non-bio o "abiomarcatori" e attraverso le loro paragenesi vengono stabilite le identificazioni relative alla provenienza delle materie prime .L' analisi di 22 elementi in tracce in 77 campioni di oli ha chimicamente correlato quest'ultimi con la composizione delle meteoriti condritiche, con il mantello peridotico , serpentizzato o primitivo, e non ha evidenziato alcuna correlazione con la distribuzione chimica dell' acqua di mare (Szatmari et al., 2005).

#### **-Diamantoidi**

La presenza di diamantoidi nel petrolio (petrolio, gas e condensato) è molto comune. Sono molecole che hanno dimensione dell'ordine dei nanometri, con una struttura simile al diamante, e si sospetta che anche la loro origine sia legata all'ambiente di formazione dei diamanti naturali, con pressioni e temperature estremamente alte, tipiche del mantello della Terra, per poi essere portati in superficie. Questi diamantoidi, trovati in maggiore abbondanza nei condensati, costituiscono un eccellente materiale per le nanotecnologie.

#### **-Idrogeno**

L'olio è composto prevalentemente da alcani (n-alcani, paraffine). Sir Robert Robinson, Premio Nobel per la Chimica (1947), ha studiato dettagliatamente la composizione naturale del petrolio e ha concluso che vi è una quantità superiore di idrogeno rispetto il prodotto di decomposizione organica di piante o animali. Infatti le olefine (alcheni), che sono insaturi, dovrebbero essere la fonte principale della formazione biogena del petrolio.

#### **-Termodinamica**

Il Secondo principio della termodinamica esclude la formazione spontanea di idrocarburi di peso superiore al metano in condizioni di bassa pressione , tipiche dei bacini sedimentari: calcoli termodinamici e vari studi sperimentali eseguiti in Russia e negli Stati Uniti hanno confermato che l'n-alcani (componenti comuni del petrolio) evolvono a partire da condizioni più profonde(al di sotto di 150–200 km, in base a studi del Dr. J.F. Kenney e collaboratori).

#### **-Biologia**

La vita come la conosciamo si basa principalmente sul carbonio. Alcuni organismi primitivi (archeobatteri) ricavano energia primaria dal metano o dall'olio, situati in profondità. Molti batteri utilizzano anche ossigeno dalla riduzione di solfati e dalla produzione di gas di idrogeno solforato (H<sub>2</sub>S). Quindi la profonda biosfera contamina il petrolio e diventa una parte dei cosiddetti biomarcatori che si trovano nel petrolio naturale. La fotosintesi è un processo molto complesso che gli organismi primitivi hanno sviluppato per aiutarli a sopravvivere sulla superficie del pianeta. Questo potrebbe essersi verificato quando la fonte locale di idrocarburi ha cessato la propria attività. Infatti L'astrofisico Thomas Gold ha ricordato come i batteri primitivi hanno sviluppato la fotosintesi per conquistare la superficie.

#### **-Serpentinizzazione e sintesi chimica del petrolio - Sintesi Fischer-Tropsch**

Un' altra possibile formazione di composti inorganici del petrolio avviene attraverso la sintesi Fischer-Tropsch. Quest'ultima converte il monossido di carbonio, l' anidride carbonica e il metano in idrocarburi liquidi di varie forme. Il monossido e il biossido di carbonio sono generati dalla parziale ossidazione del carbone. Questo processo è stato sviluppato e utilizzato ampiamente nella seconda guerra mondiale dalla



Germania, che aveva un limitato accesso alle forniture di petrolio. È ancora utilizzato in Sud Africa per la produzione di diesel. Quindi la Serpentinizzazione di rocce ultramafiche ricche in carbonio è molto simile alla sintesi Fischer-Tropsch : si ritiene che si verifichi in profondità, dove il mantello è peridotite idrolizzata, cioè serpentine, con spargimento di idrogeno. In presenza di catalizzatori, quali metalli di transizione (Fe, Ni, Co), l'idrogeno reagisce con l'anidride carbonica del sistema( eventualmente presente nelle rocce carbonatiche) producendo n-alcani, idrocarburi saturi lineari compresi gli idrocarburi, alcoli, aldeidi, chetoni, composti aromatici e ciclico. È anche possibile che il metano proveniente dalle regioni più profonde del mantello è polimerizzato dalla sintesi Fischer-Tropsch per formare n-alcani e altri idrocarburi.

#### -Associazione di petrolio con strutture profonde

Giacimenti di petrolio e di gas si trovano principalmente sulle strutture profonde del basamento cristallino, legate ai confini di placche litosferiche o alle strutture di impatto di meteoriti (crateri di impatto). Questa associazione può essere osservata in base alla distribuzione dei campi petroliferi lungo gli archi , come l'Indonesia, il Golfo Persico, gli Appennini (Italia), l'Alaska, l'Arco di Barbados e la sua continuità a Trinidad e Tobago fino al Venezuela.

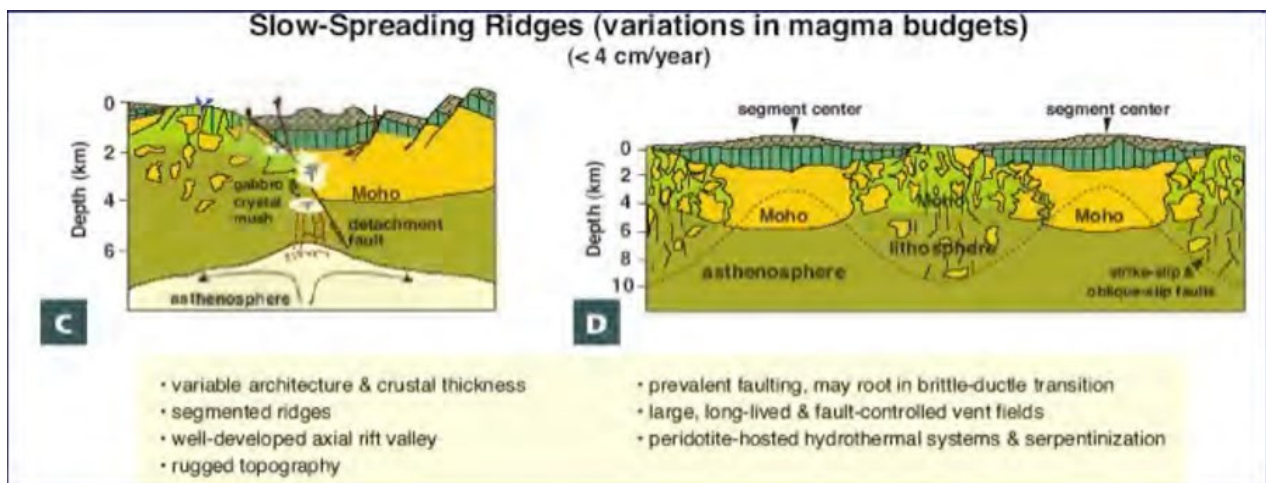
#### 4.2.3 Focalizzazione sulla Serpentinizzazione

La serpentine è una roccia ultramafica metamorfizzata, appartenente alla famiglia delle peridotiti. È costituita prevalentemente da serpentino, un minerale idrato, che rappresenta il prodotto dell'idratazione di minerali come olivine e pirosseni, che costituiscono le peridotiti. Il processo di serpentinizzazione può essere sinteticamente descritto dalla seguente reazione:



[Reazione di serpentinizzazione dei principale minerali che costituiscono le rocce mantelliche]

mostra come alcuni minerali reagendo con acqua si trasformino in altri minerali e creando idrogeno molecolare come prodotto di scarto. E si osserva generalmente nelle zone di denudamento di mantello nei fondali suboceanici, nelle zone di dorsale, quando le peridotiti vengono raffreddate al di sotto dei 450°C abbiamo serpentino + magnetite; per temperature invece inferiori ai 350°C abbiamo serpentino + magnetite + brucite e si è visto che il decorrere di entrambe le reazioni da come prodotto di scarto idrogeno molecolare (Sleep et al., 2004). È un processo legato a reazioni esotermiche che causano una mutazione della composizioni mineralogica, ma non chimica e fra le altre cose una notevole variazione di volume e la variazione della velocità della propagazione delle onde sismiche. La "patria" se così si può dire di questo processo sono le dorsali a lentissima espansione (velocità inferiore a 4cm/anno), anche dette dorsali a dominante tettonica.

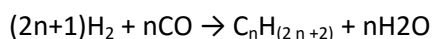


[Schematizzazione di una dorsale a lentissima espansione]

Che si contrappongono alle dorsali a “rapida” espansione (velocità superiore ai 4mm/annui).

La sequenza stratigrafica delle dorsali a rapida espansione è la sequenza “classica” di un fondale oceanico, che si ritrova anche in affioramento con le sequenze ofiolitiche. Per quanto riguarda le dorsali a lentissima espansione, invece, la situazione è un po’ più complicata; spesso non si verificano manifestazioni vulcanico-magmatiche, ma solamente un progressivo inarcamento della litosfera oceanica, il cui movimento è accompagnato da strutture distensive, generalmente faglie listriche. Lungo questi sistemi di faglie listriche, che hanno generalmente spreading asimmetrico, si formano massicci domiformi con una superficie arcuata, con rilievi che possono raggiungere i 2500m, che prendono il nome di core-complex. Questi complessi possono portare all’affioramento delle rocce mantelliche sottostanti, come peridotiti e gabbri che normalmente giacciono ad una profondità superiore a 6km. Il contatto fra queste rocce e l’acqua marina, diretto o tramite semplice infiltrazione dell’acqua attraverso i sistemi di faglie listriche, causa l’idratazione del mantello anidro e la serpentinizzazione dei minerali che lo costituiscono, secondo le reazioni precedentemente illustrate. Una caratteristica importante della serpentinizzazione è che è una reazione esotermica, significa che se da un lato “consumano H<sub>2</sub>O” dall’altra generano una ingente quantità di calore durante la trasformazione dei minerali. La quantità di calore generata è direttamente proporzionale all’acqua consumata. (Vengono consumati in media 300 litri di acqua per ogni metro cubo di roccia che viene alterata, con una produzione di circa 660000000 Joules (per m<sup>3</sup>) – energia sufficiente ad alimentare una lampadina da 100 Watt per circa 76 giorni!). Un altro fenomeno importante, conseguenza del processo di serpentinizzazione è la formazione di evaporiti “idrotermali” (Hovland et al., 2006). Questo significa che i sali contenuti nell’acqua oceanica (di cui nella reazione di serpentinizzazione, viene consumata solo la parte “pura” H<sub>2</sub>O) precipitano, fino a formare livelli salini, di spessori anche importanti, intercalati, o sovrastanti le serpentiniti stesse che (vedremo meglio in seguito) assumono fra l’altro un ruolo indispensabile nella conservazione degli idrocarburi, fungendo da “trappole” per gli oli e i gas.

Una delle scoperte scientifiche più importanti scaturite dalle campagne oceanografiche IODP -Integrated Ocean Drilling Program –è la presenza di anomalie positive di idrogeno molecolare nella colonna d’acqua marina sovrastante le emanazioni idrotermali abissali, per esempio lungo la MAR. E questo non ci sorprende, perché come abbiamo visto un prodotto di scarto della serpentinizzazione è appunto idrogeno molecolare; quello che invece ha un po’ sorpreso la comunità scientifica è stato il riscontro di anomalie positive di metano (CH<sub>4</sub>) e più modeste quantità di altri idrocarburi. Oggi la comunità scientifica è abbastanza concorde nel ritenere che è proprio la presenza dell’idrogeno molecolare rilasciato dalla reazione di serpentinizzazione a innescare la riduzione catalitica della CO<sub>2</sub> presente nel sistema.



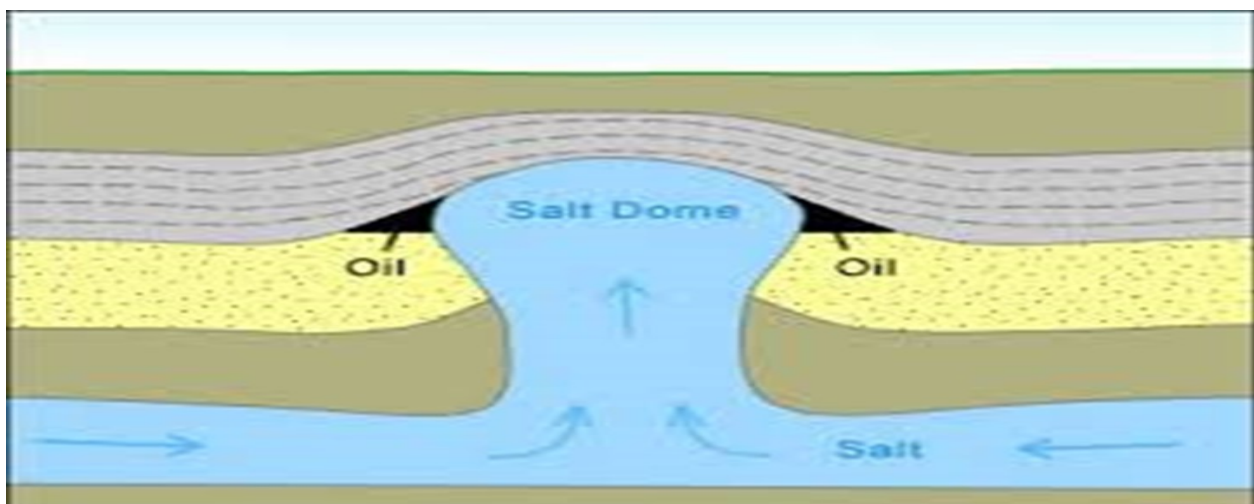
Dove n è un numero intero positivo.

Questa generica reazione esotermica è nota come reazione Fischer-Tropsch (dai due scienziati che per primi la formularono) ed esprime una serie di reazioni chimiche che producono una varietà di molecole di idrocarburi secondo la formula generica C<sub>n</sub>H<sub>(2n+2)</sub>. Questa può decorrere solo con delle determinate condizioni di temperatura (150-300 °C) e pressione (che nei fondali abissali vengono plausibilmente raggiunte), e con la presenza di catalizzatori (es. ossidi di alcuni metalli). Bisogna ricordare che nei minerali che subiscono la serpentinizzazione, sono spesso presenti elementi in traccia (Fe, Ni, Cu, Zn) che non entrano nei reticoli dei serpentini e che quindi durante la serpentinizzazione formano piccole quantità di minerali accessori (come ossidi, solfuri e in alcuni casi leghe metalliche). Nonostante le piccole quantità, questi minerali, che fungono da catalizzatori, sono sufficienti a far decorrere la reazione. Nelle serpentiniti oceaniche, infatti, è stata riscontrata la presenza della cohenite (Fe<sub>3</sub>C) che costituisce il termine intermedio fra la reazione di riduzione del CO o della CO<sub>2</sub> e la formazione degli idrocarburi (Pikovskii et al., 2004). Nonostante questo processo è scientificamente provato (in passato è stato anche usato per produrre idrocarburi sintetici - ad esempio durante la seconda guerra mondiale, in Germania, il 9% dei combustibili per la produzione bellica, e il 25% dei carburanti delle automobili derivava da reazione sintetica) ed energeticamente possibile, la comunità scientifica è poco incline

a ritenere che questi idrocarburi hanno importanza per la formazione di giacimenti economicamente importanti.

#### 4.2.4 Cenni sui vulcani di fango

Le manifestazioni di fango argilloso-siltoso sotto forma di colate e “fontane” con la formazione di piccoli edifici a scudo sono abbastanza comuni sul nostro pianeta (anche su altri pianeti del sistema solare, Marte in particolare). Sulla Terra i siti conosciuti con vulcanelli di fango sono circa 1100 in ambiente subaereo, più di 10000 annoverando quelli sottomarini. La risalita dei fanghi lungo fratture beanti si ritiene dovuta alla cospicua presenza di una fase gassosa costituita in gran parte e quasi sempre da metano e altri idrocarburi gassosi. Soltanto nei casi ove le manifestazioni di fango avvengono in prossimità di un vulcano attivo viene ad esserci la CO<sub>2</sub> al posto del metano. Questo fatto è spiegato ammettendo che la CO<sub>2</sub> è il prodotto dell’ossidazione ad alta temperatura del metano. Questo idrocarburo, dunque, è sempre alla radice del fenomeno in esame. Il diapirismo è un fenomeno geologico che si esplica generalmente a scala regionale. Esso è dovuto a variazioni positive di volume e variazioni negative di densità di uno strato roccioso rispetto a quelli sovrastanti / circostanti. Queste variazioni possono determinare il sollevamento passivo della colonna litosferica interessata. Considerando una superficie piuttosto ampia, il sollevamento può esplicarsi in forma di duomo, se le formazioni sovrastanti hanno comportamento plastico o dare luogo ad horst e graben se le masse rocciose interessate hanno un comportamento prevalentemente rigido. Se al di sopra del diapiro si trovano sia strati plastici sia strati rigidi si possono formare dislocazioni di tipo diretto, anche a basso angolo. E’ noto che la tettonica listrica nei fondali marini produce vere e proprie finestre tettoniche, dagli strati più profondi della crosta (il cosiddetto livello 3) e talora fino al mantello. L’idratazione di rocce nominalmente anidre, con diverse trasformazioni di fase, è la causa principale, se non unica, del suddetto aumento di volume. Per esempio, i silicati di magnesio e ferro quali olivina e/o ortopirosseno, costituenti importanti dei basalti e gabbri e costituenti dominanti di peridotiti e pirosseniti, possono essere trasformate in fillosilicati, quali serpentini, cloriti, smectiti in seguito ad idratazione. La serpentizzazione è, al riguardo, il processo di idratazione di gran lunga più importante. Un aumento di volume delle masse rocciose femiche e ultrafemiche può essere dovuto anche alla carbonatazione se essa avviene in concomitanza con l’idratazione. L’idratazione di masse rocciose ultrafemiche può causare aumenti di volume fino al 40%, bastanti a conseguire sollevamenti regionali di diverse migliaia di metri. Il diapirismo argilloso /serpentinitico e le manifestazioni di fango possono essere visti come fenomeni interdipendenti e concomitanti, ma non devono essere confusi. Il diapiro, infatti, è un corpo geologico generalmente a scala regionale e non necessita di una tettonica disgiuntiva preesistente. Il diapiro, inoltre, non necessita di una forte sovrappressione di fluidi per la sua messa in posto: essa è determinata, in prima approssimazione, dall’aumento di volume e dalla forza di galleggiamento. Le manifestazioni di fango, invece, presuppongono l’esistenza di fratture beanti lungo le quali risalire. L’espansione dei gas con la decompressione, con la formazione di vere e proprie bande di vescicolazione fino alla frammentazione, è il motore trainante delle eruzioni di fango.

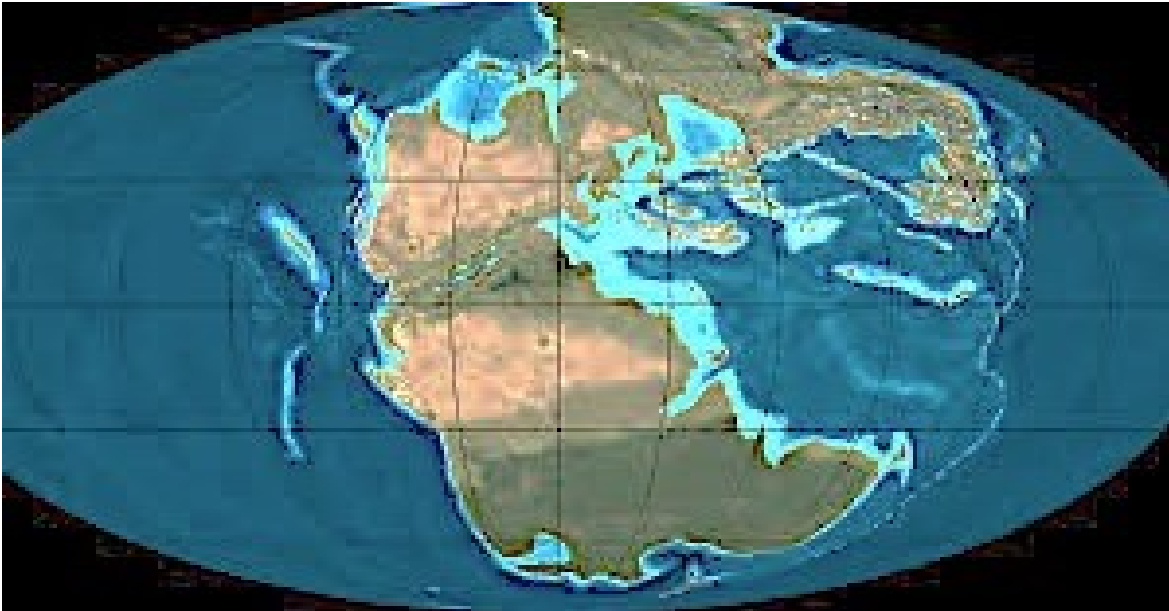


[Diapirismo serpentinitico]

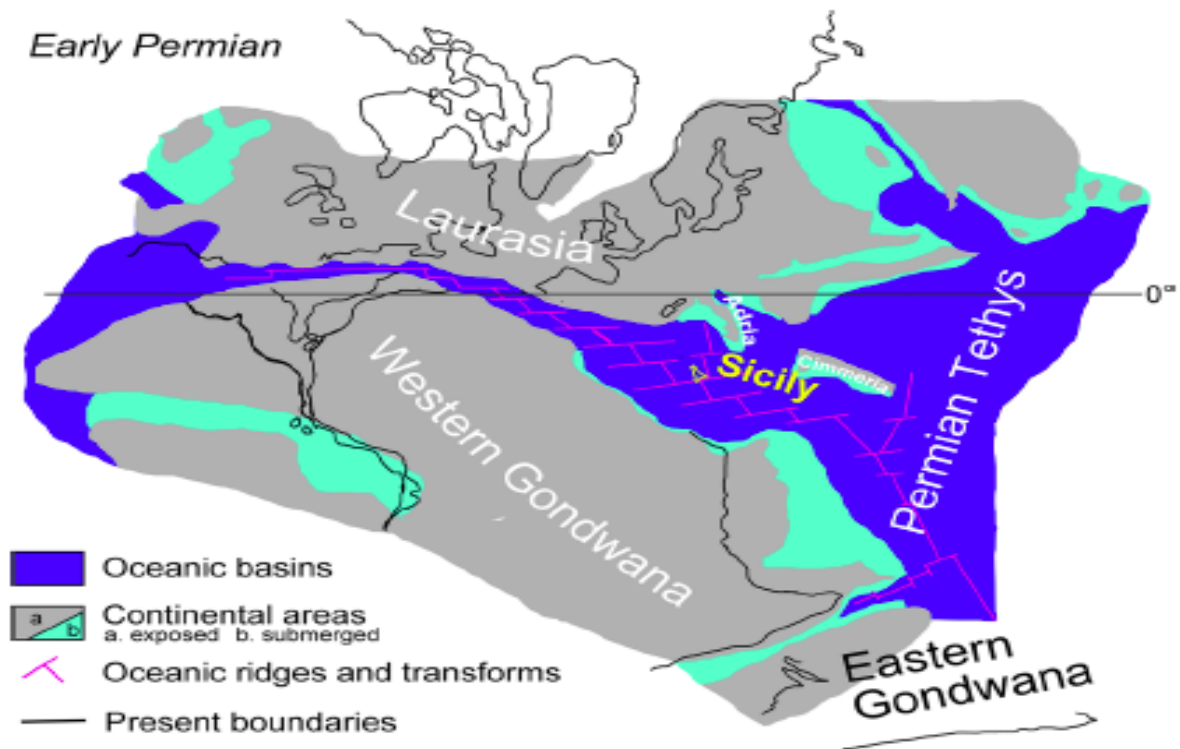
## 5.0 Dalla Tetide al Mediterraneo: il caso del mar Levantino

### 5.1 Cenni sulla Tetide

Introdotta da Eduard Suess nel 1883, Il nome Tetide deriva dalla mitologia Greca ( riferimento alla dea del mare).La Tetide è un oceano che è esistito da 250-50 Ma, orientato circa Est-Ovest e le sue ricostruzioni sono talora dettagliate ma generalmente problematiche: nel Tardo Carbonifero o primissimo Permiano, un megashear destro, orientato circa Est-Ovest, ha interessato la Pangea determinandone la separazione in due blocchi continentali denominati Laurasia (o Laurentia) a Nord e Gondwana a Sud);



[Una delle tante rappresentazioni della Tetide Paleozoica e del megashear intracontinentale]



[Tentative Paleogeographic map of the circum-Mediterranean area during Early Permian (modified after Vai 2003), which shows the Oman–Iraq–Levantine–Sicily– Texas seaway (Vai 1994, 2003) belonging to the Permian Tethys. Location of present Sicily area and the ridge-transform systems are approximative ]

nel Triassico la Tetide si è estesa verso ovest, fino a dove oggi è ubicato l'Atlantico Centrale. All'inizio del Giurassico la Tetide ha raggiunto la sua massima espansione areale. In particolare, lo studio delle ofioliti perimediteranee permette di comprendere come la Tetide era un oceano a basso, localmente bassissimo, tasso di espansione. Esempi attuali sono la MAR, la SWIR e l'Oceano Artico.

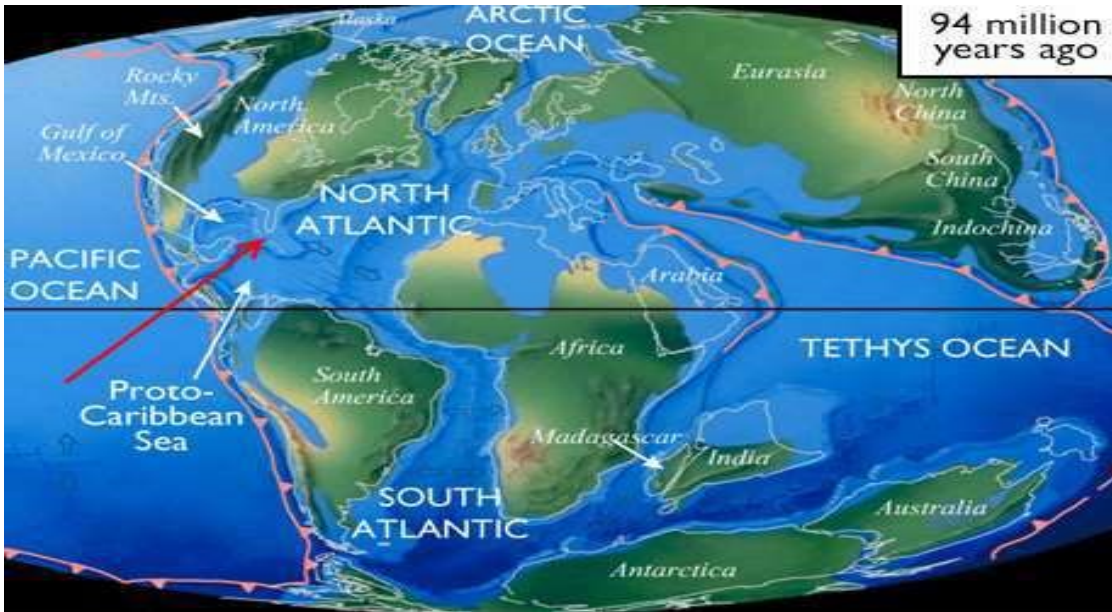
Com'è noto, lungo le dorsali a lenta espansione, quindi a dominante tettonica, l'acqua marina penetra attraverso profonde fratture benanti provocando la serpentizzazione dell'olivina e dell'ortopirosseno presenti nelle rocce e innescando episodi di tettonica listrica e conseguente esumazione di porzioni profonde della litosfera al fondo dell'oceano. Più precisamente, è noto che al diminuire della temperatura e all'aumentare dell'idratazione (= serpentizzazione) la densità delle rocce ultrafemiche diminuisce e il volume aumenta. Per questo nella litosfera oceanica si innesca una tettonica verticale ed enormi masse rocciose si ergono a formare rilievi sottomarini, anche di dimensioni imponenti, tali persino da affiorare sulla superficie dell'oceano: tali rilievi tettonici vengono chiamati Core Complex Oceanici (OCC).

Oltre alla formazione di idrocarburi, la serpentizzazione porta alla formazione di depositi salini: se il fluido acquoso serpentizzante è costituito da acqua marina, il processo di serpentizzazione richiede soltanto acqua pura, e quindi i sali marini vengono esclusi dal processo e si concentrano dapprima in salamoie da cui precipitano in forma cristallina, depositandosi tra le fratture e altri vuoti (porosità) delle serpentiniti; inoltre si calcola che per ogni metro cubo di peridotite serpentizzata si formano 1.3 kg di sali marini (salgemma e gesso in primis). Al di sotto dei fondali della Tetide, quindi, dovevano esserci immensi depositi salini i quali sono degli ottimi sigillanti (trappole) dei giacimenti di idrocarburi, ma talora possono costituire essi stessi serbatoi. Infatti, in particolari condizioni, i depositi salini possono presentare un'elevata porosità.

## 5.2 Cenni sul Mediterraneo

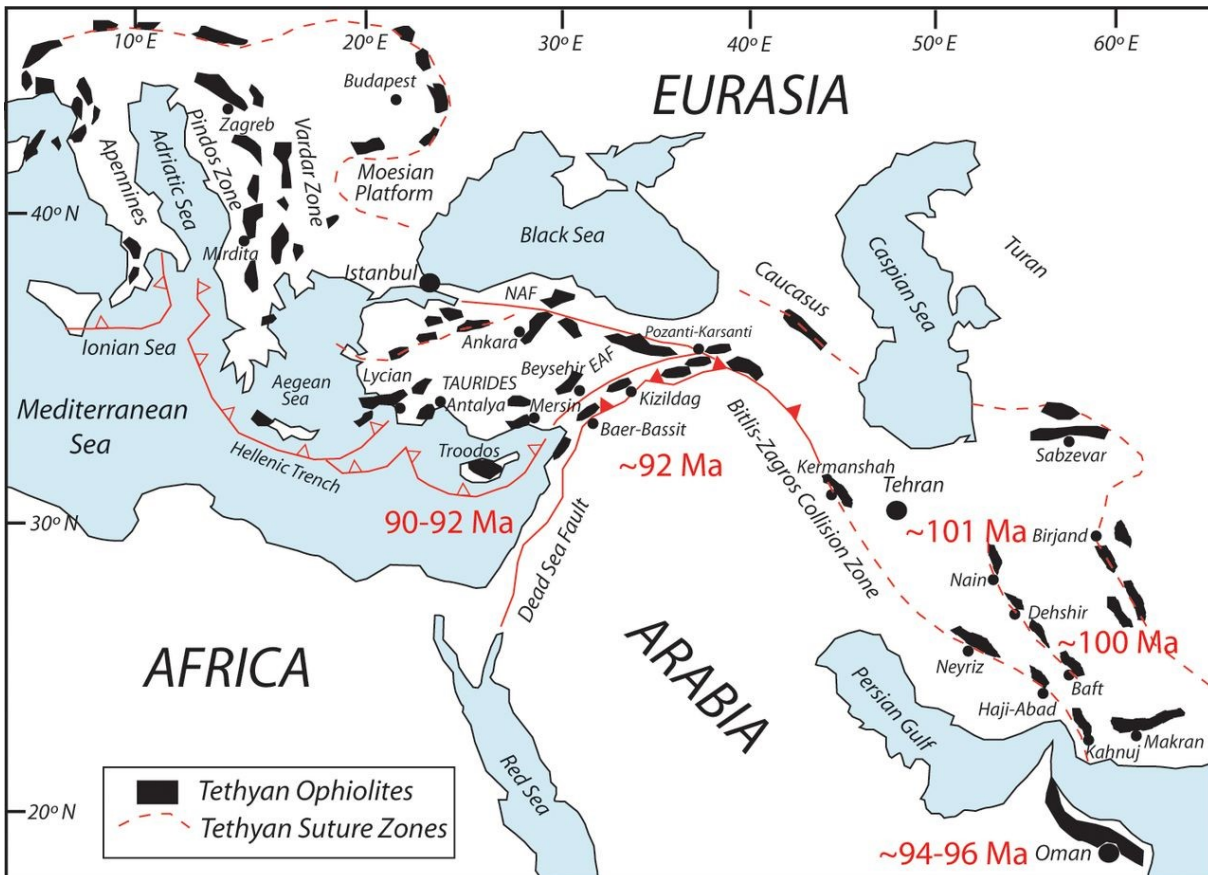
Il mar Mediterraneo, detto brevemente Mediterraneo, è un mare intercontinentale situato tra Europa, Africa e Asia. La sua superficie approssimativa è di 2,51 milioni di km<sup>2</sup> e ha uno sviluppo massimo lungo i paralleli di circa 3 700 km. La lunghezza totale delle sue coste è di 46 000 km, la profondità media si aggira sui 1 500 m, mentre quella massima è di 5 270 m presso le coste del Peloponneso. La salinità media si aggira dal 36,2 al 39 ‰. Il Mediterraneo è collegato a ovest all'oceano Atlantico, attraverso lo stretto di Gibilterra. A est attraverso il mar di Marmara, tramite i Dardanelli e il Bosforo, è collegato al Mar Nero. Il mar di Marmara è spesso considerato parte del Mediterraneo, mentre il Mar Nero viene generalmente considerato un mare distinto. Il canale di Suez a sud-est collega il Mediterraneo al Mar Rosso. Le maree sono molto limitate anche a causa dello scarso collegamento con l'oceano, che limita la massa d'acqua complessiva investita dal fenomeno. Le temperature del Mediterraneo hanno estremi compresi fra i 10 °C e i 32 °C. In genere si oscilla fra i 12-18 °C nei mesi invernali fino ai 23-30 °C nei mesi estivi, a seconda delle zone. Il Bacino del mar Mediterraneo è composto da un complesso sistema di strutture generate dall'interazione tra la Placca euroasiatica e la Placca africana. Secondo la teoria della Tettonica delle placche, queste due placche si sono avvicinate con un movimento rotatorio durante gli ultimi 300 milioni di anni, durante i quali le zone intermedie tra le due placche si sono deformate, scivolando e ruotando tra di loro, sovrapponendosi e lasciando spazio per l'apertura di nuovi bacini interni. La recente costituzione della zona Mediterranea è il risultato di questa complessa storia geodinamica e mostra una serie di microplacche deformate, zone mobili tra queste microplacche (le catene montuose) e vecchie e nuove croste oceaniche (i bacini). Non esiste tuttora una singola teoria complessiva per descrivere la storia di questo sistema, e numerosi modelli sono stati proposti. Il sistema del Mediterraneo normalmente viene suddiviso in tre aree principali: il sistema del Mediterraneo occidentale, del Mediterraneo centrale e del Mediterraneo orientale. Il sistema del Mediterraneo occidentale è composto dalla microplacca iberica, la catena dei Pirenei, la catena dell'Atlante (Marocco, Algeria e Tunisia occidentale), le isole Baleari e il bacino Mediterraneo occidentale. Il sistema del Mediterraneo centrale è composto dalla catena delle Alpi, la catena degli Appennini, l'Arco calabro peloritano, il Bacino tirrenico, il Bacino adriatico, il Bacino ionico, le zone mobile di deformazione della Tunisia orientale e la Libia occidentale. Il sistema del Mediterraneo orientale è composto dalla Catena dinarica, dal sistema dell'Arco ellenico (con l'isola di Creta), il Mar Egeo, il Bacino del Mediterraneo orientale, la Placca anatolica, la catena di Cipro, le zone mobili del Mediterraneo orientale (Libano, Israele, Egitto) e le catene nordafricane libiche. L'apertura dell'Atlantico e il conseguente movimento rotazionale in senso antiorario della placca Arabica determinavano l'inizio della chiusura della

Tetide e la formazione del Mediterraneo e delle sue cornici collisionali. La chiusura della Tetide è durata fino al Miocene Medio ad Est e fino al Quaternario ad Ovest.



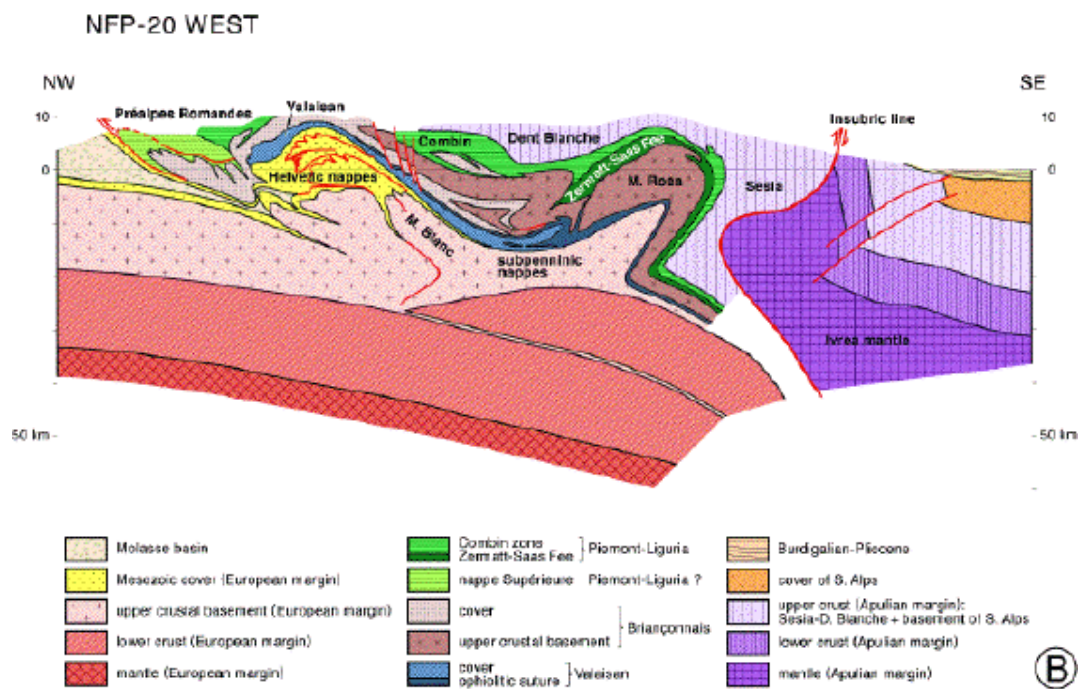
[schema tettonico tetide]

Le odierne aree marine relitte della Tetide (quindi a litosfera oceanica) includono il Mediterraneo, il Mar Nero e i laghi salati del Caspio e di Aral. Altri relitti della litosfera della Tetide sono state obdotti a giorno lungo i fronti collisionali e costituiscono i Massicci Ofiolitici premediterranei (Alpi occidentali, Nord-Appennino, Penisola Ellenica etc.) e del vicino oriente (sutura di Zagros).



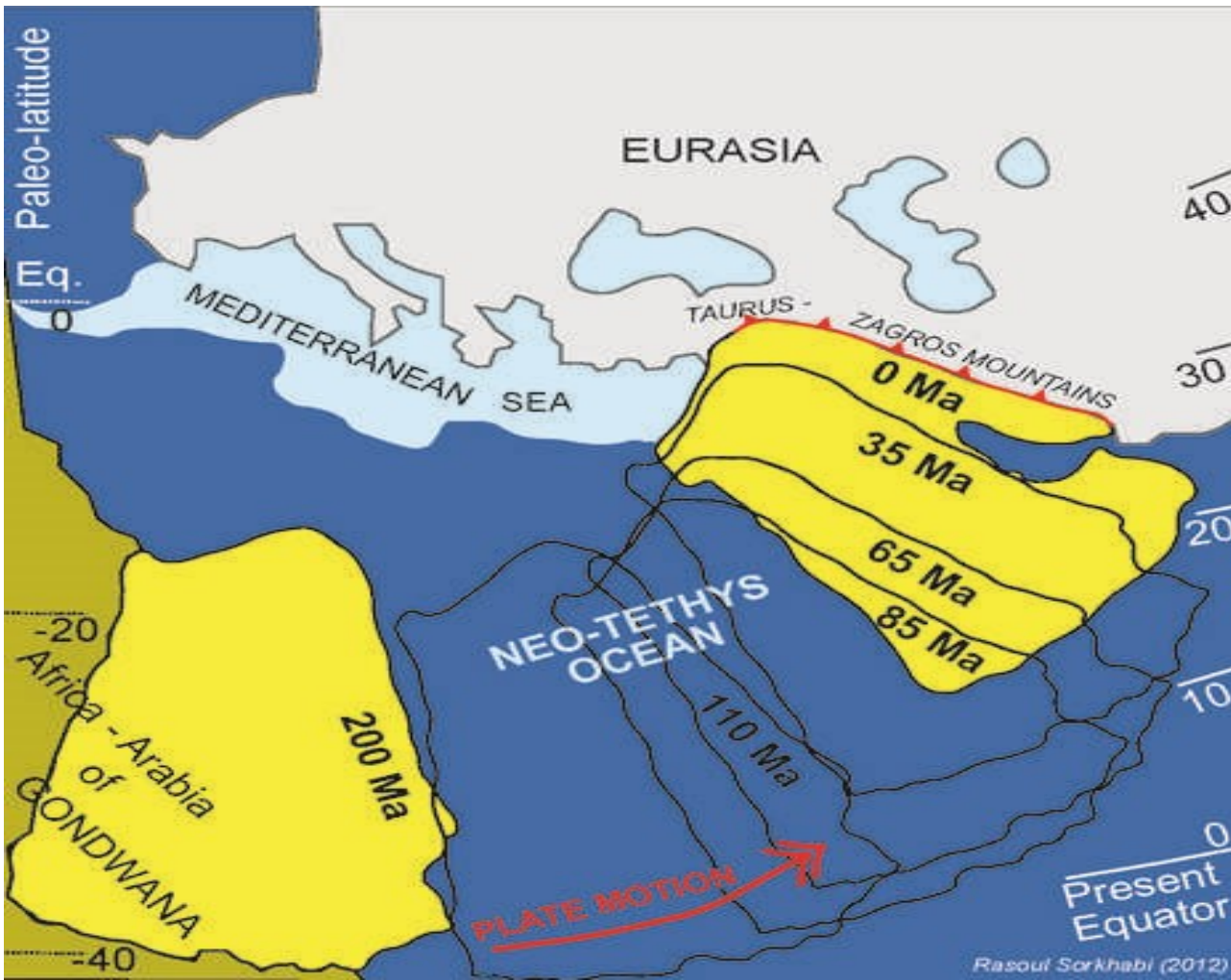
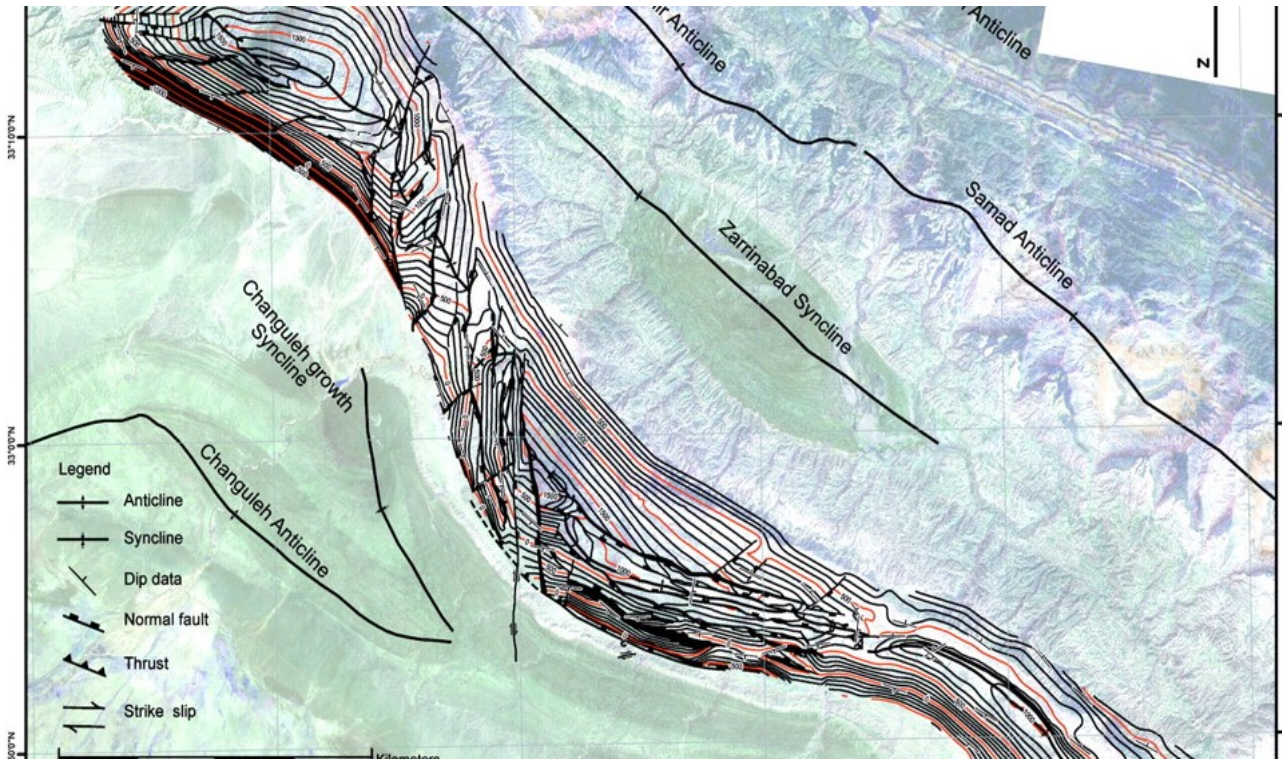
[schema ofioliti nel mediterraneo]

Ma cosa è successo agli idrocarburi e ai sali della Tetide durante l'obduzione ofiolitica? In molti luoghi ove è avvenuta l'obduzione della litosfera della Tetide, come nelle Alpi e Appennini, la complessa tettonica regionale ha verosimilmente distrutto le trappole degli idrocarburi della Tetide.



[Meccanismo tettonico obduzione ]

Invece il meccanismo collisionale della placca Arabica contro quella Eurasiatica lungo la sutura di Zagros, è stato meno complesso di quello delle Alpi/Appennini, favorendo la migrazione degli idrocarburi della Tetide entro trappole tettoniche, generalmente nuclei di pieghe, ove sono presenti rocce serbatoio carbonatiche o silicoclastiche. Infatti la velocità del movimento della Placca Arabica rispetto a quella Eurasiatica è stata di 2-3 cm l'anno quasi costante per almeno 56 Ma.



[Schema tettonico Medio Oriente]

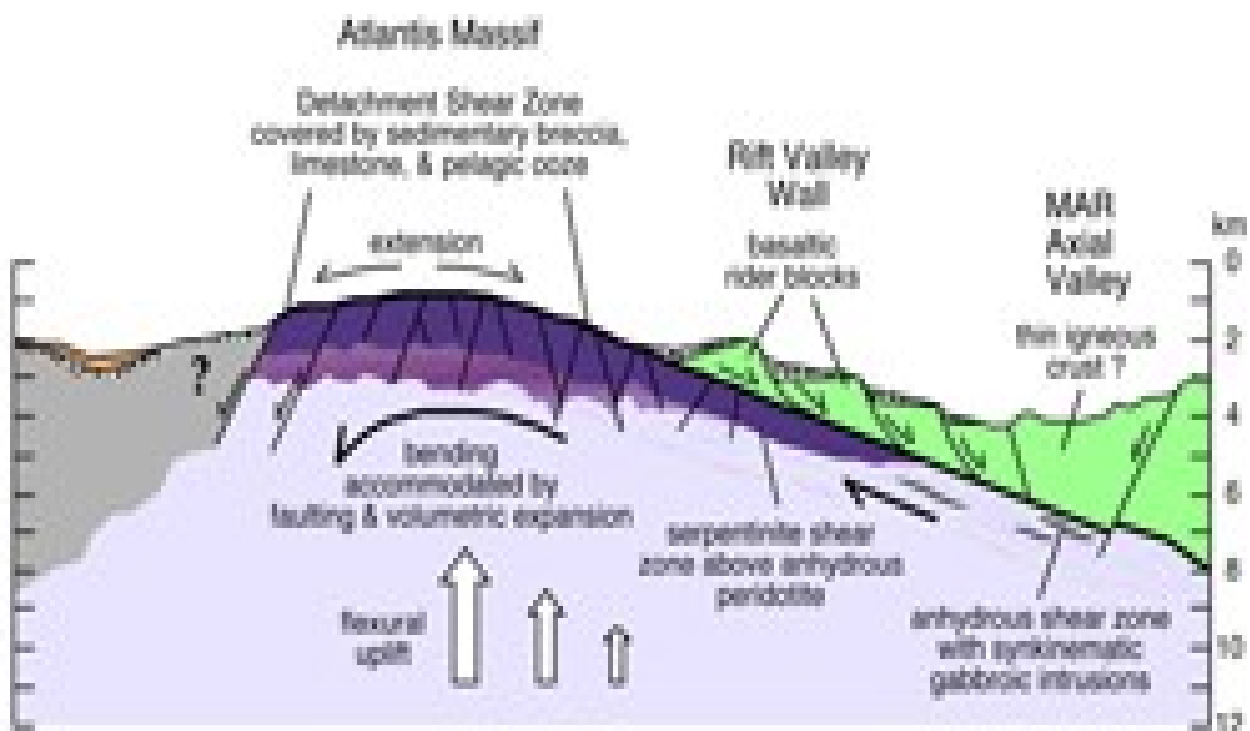


Ma vediamo più dettagliatamente gli aspetti geologici dei giacimenti petroliferi mediorientali. Essi sono comunque legati all'obduzione della litosfera oceanica della Tetide o alla presenza di relitti della Tetide (Caspio, Mar nero): nella zona a pieghe (con asse NW-SE) delle montagne di Zagros il petrolio è stato intrappolato al nucleo delle anticlinali durante il piegamento e il piegamento continua ad oggi a causa dell'apertura oceanica del Mar Rosso; nella Penisola arabica i giacimenti petroliferi sono iso-orientati N-S e giacciono al di sopra di horst del basamento anch'essi orientati N-S e gli horst dovrebbero essere delimitati da faglie dirette nel basamento precambrico; nella penisola del QUATAR e attorno al Golfo Arabico i giacimenti hanno forma circolare e si sono formati in corrispondenza di duomi salini.

### 5.2.1 L'obduzione della Tetide lungo la sutura di Zagros nell'Iran nord-occidentale.

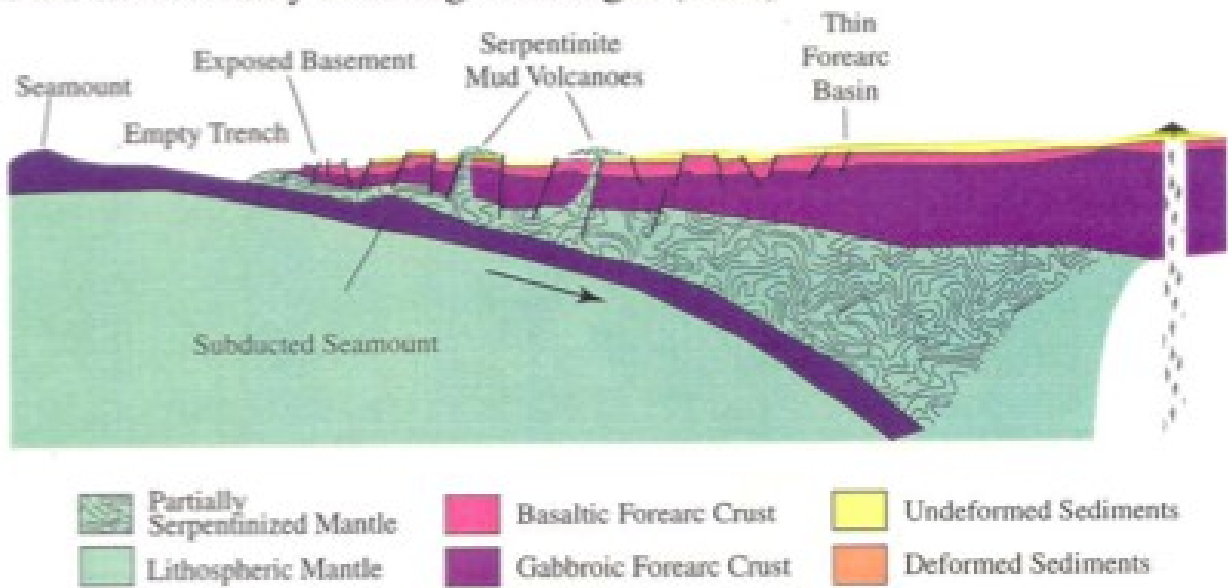
I Monti Zagros si sviluppano per circa 1.000 km da nord-ovest a sud-est, con una larghezza media di oltre 200 km. La cima più elevata tocca i 4.548 m nello Zard-e Kuh, e complessivamente l'altopiano si mantiene sui 1.800 m. Il petrolio che ora si trova ai nuclei delle anticlinali lungo la sutura di Zagros esistevano già quando la Tetide era un oceano oppure si è formato durante i processi di sutura?

La risposta a questa domanda non può essere univoca. Infatti, se è vero che la serpentinizzazione delle peridotiti del mantello suboceanico è iniziata quando la tetide era un oceano, ovvero nel Tardo permiano, e è continuata per tutto il Trias, è anche vero che la subduzione al fronte della sutura di Zagros ha portato alla de-serpentinizzazione di una parte dello slab, rilascio di fluidi acquosi e serpentinizzazione di quelle peridotiti non ancora serpentinizzate. Ovvero, la produzione di idrocarburi abiogenici legati alla serpentinizzazione è continuata nel miocene. Nel plio-Quaternario, poi, l'apertura del Mar Rosso ha verosimilmente accentuato la subduzione della litosfera della Tetide, con ulteriore deserpentinizzazione profonda, serpentinizzazione più superficiale e produzione abiogenica di idrocarburi. Quindi, la produzione di idrocarburi continua ad oggi rendendo i giacimenti petroliferi di quella regione quasi inesauribili.

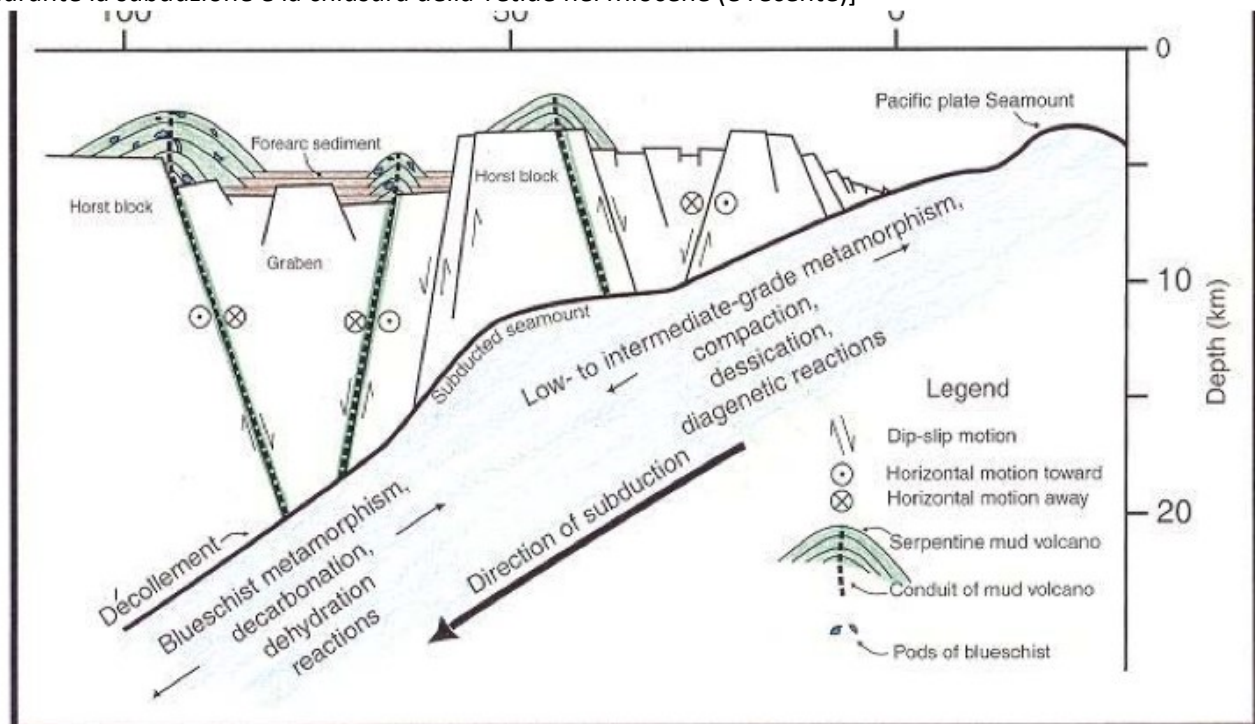


[Esumazione del mantello al fondo della Tetide, serpentinizzazione e produzione abiogenica di idrocarburi nel Permo Trias]

## Non-accretionary Convergent Margin (IBM)



[Deserpentinizzazione profonda e serpentinizzazione superficiale (con produzione di idrocarburi abiogenici) durante la subduzione e la chiusura della Tetide nel Miocene (e recente)]



[Questi vulcani di fango serpentinitico impregnato di idrocarburi si hanno oggi in corrispondenza dei sistemi subduttivi NON ACCREZIONARI del Pacifico, come il caso della zona delle Marianne (il Conical Seamount è un vulcano di fango serpentinitico grande quanto l'Etna)]

### 5.3 Idrocarburi della Tetide nel fondo del Mediterraneo: il caso del mare di Levante e il Pozzo Zhor X1

#### 5.3.1 Introduzione

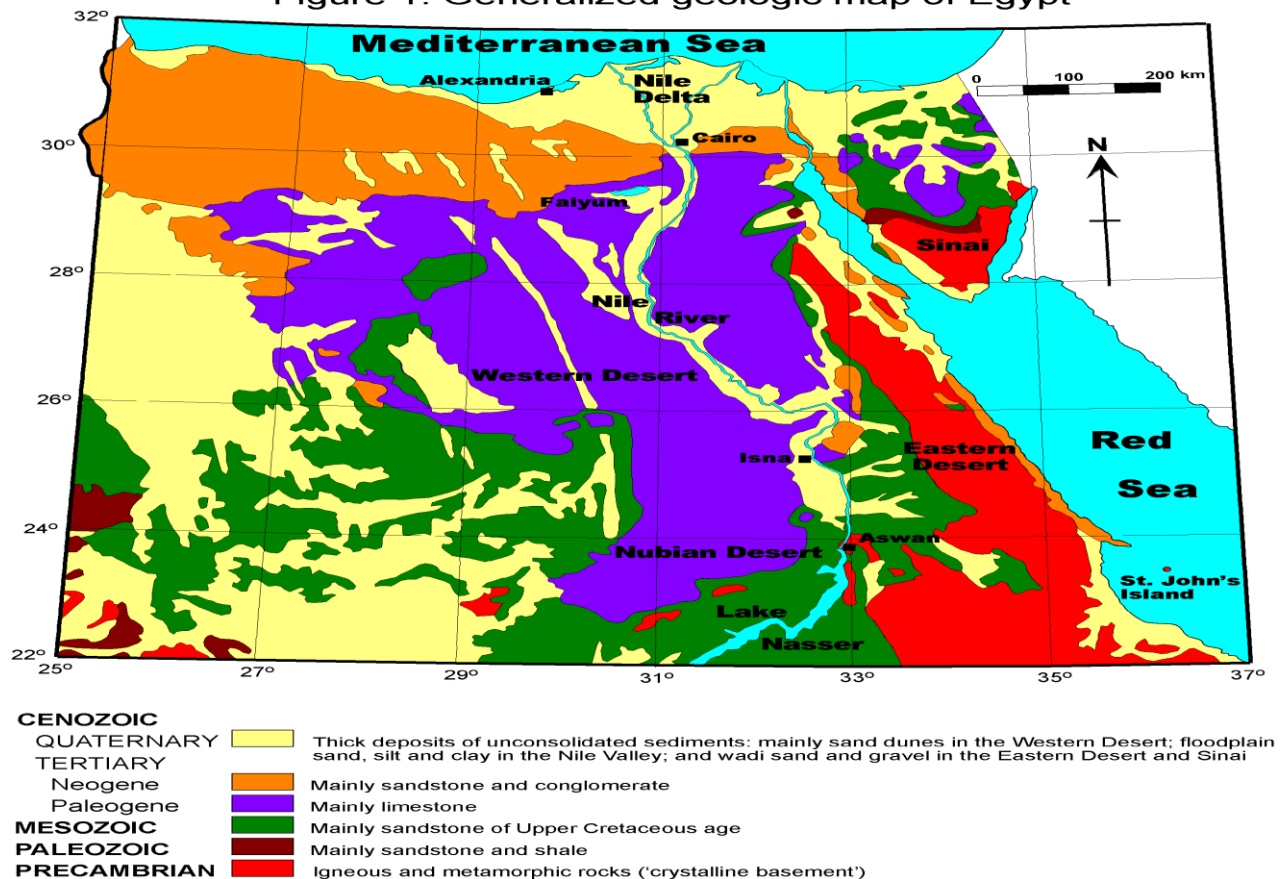
Il Mar di Levante è la porzione più orientale del Mar Mediterraneo, delimitato a nord dalla Turchia in particolare dalla Penisola anatolica, ad est da Siria, Libano, Israele e Palestina (Striscia di Gaza), a sud dall'Egitto e ad ovest dal Mar Egeo, dall'Isola di Rodi, dalla punta più ad est dell'Isola di Creta, dal Mar libico e dal confine egiziano con la Libia. Rappresenta un grosso bacino marittimo piuttosto povero di isole, dove

la maggiore eccezione è costituita da Cipro. La sua maggiore profondità di 4.384 metri la si trova a sud di Creta e la sua estensione è di circa 320.000 km<sup>2</sup>. La sua porzione settentrionale tra Cipro e la Turchia è anche detta Mare della Cilicia, sempre a nord sono presenti due grandi baie: il Golfo di Alessandretta ad est ed il Golfo di Antalya ad ovest. Il delta del Nilo situato in corrispondenza delle sue coste, fa sì che in questo bacino sfoci il fiume più lungo del mondo. L'apertura del canale di Suez avvenuta nel 1869 ha fatto sì che, da quel momento il Mar di Levante si trovi in collegamento col Mar Rosso e quindi col bacino dell'Oceano Indiano. Dato che le acque del Mar Rosso si trovano ad un livello superiore, il riversamento di queste nel Mar di Levante e di conseguenza nell'intero Mediterraneo, ha provocato una modifica dell'ecosistema con un'invasione di piante ed animali. La costruzione della Diga di Assuan del 1960, ha ridotto il flusso di acqua dolce dal Nilo, rendendo relativamente più salato il mare, dando ulteriori vantaggi alle specie provenienti dal Mar Rosso.

L'ENI ha scoperto un giacimento di gas naturale in offshore egiziano, probabilmente, una delle maggiori scoperte di gas naturale a livello mondiale e il più grande del Mediterraneo, superando di gran lunga il giacimento israeliano Leviathan. La scoperta è avvenuta presso il prospecto esplorativo denominato pozzo Zohr e può garantire fino a 850 MLD di metri cubi di gas naturale ( 30 trilioni di piedi cubi di gas), una quantità equivalente a 5 miliardi e mezzo di barili di petrolio. Tanto per dare un'idea, Leviathan ha riserve recuperabili di 17 miliardi di metri cubi di gas pari a 1,6 miliardi di barili equivalenti di petrolio mentre l'offshore cipriota Aphrodite, sempre nel Mediterraneo orientale, vanta riserve stimate di 7 miliardi di metri cubi... Una scoperta epocale per ENI, che estrae nell'area del Mediterraneo in cui da gennaio 2014 fa attività di esplorazione offshore. Il pozzo Zohr si trova a 1,450m (4.757 piedi) in profondità e copre un'area di 100 km quadrati (39 miglia quadrate). La scoperta del vasto giacimento potrà garantire il soddisfacimento della domanda di gas dell'Egitto per molti decenni e potrà dare stabilità geopolitica ad una parte del mondo minacciata dai cambiamenti climatici e dalle ferventi attività guerresche della zona.

### 5.3.2 Inquadramento geologico Egitto

Figure 1: Generalized geologic map of Egypt

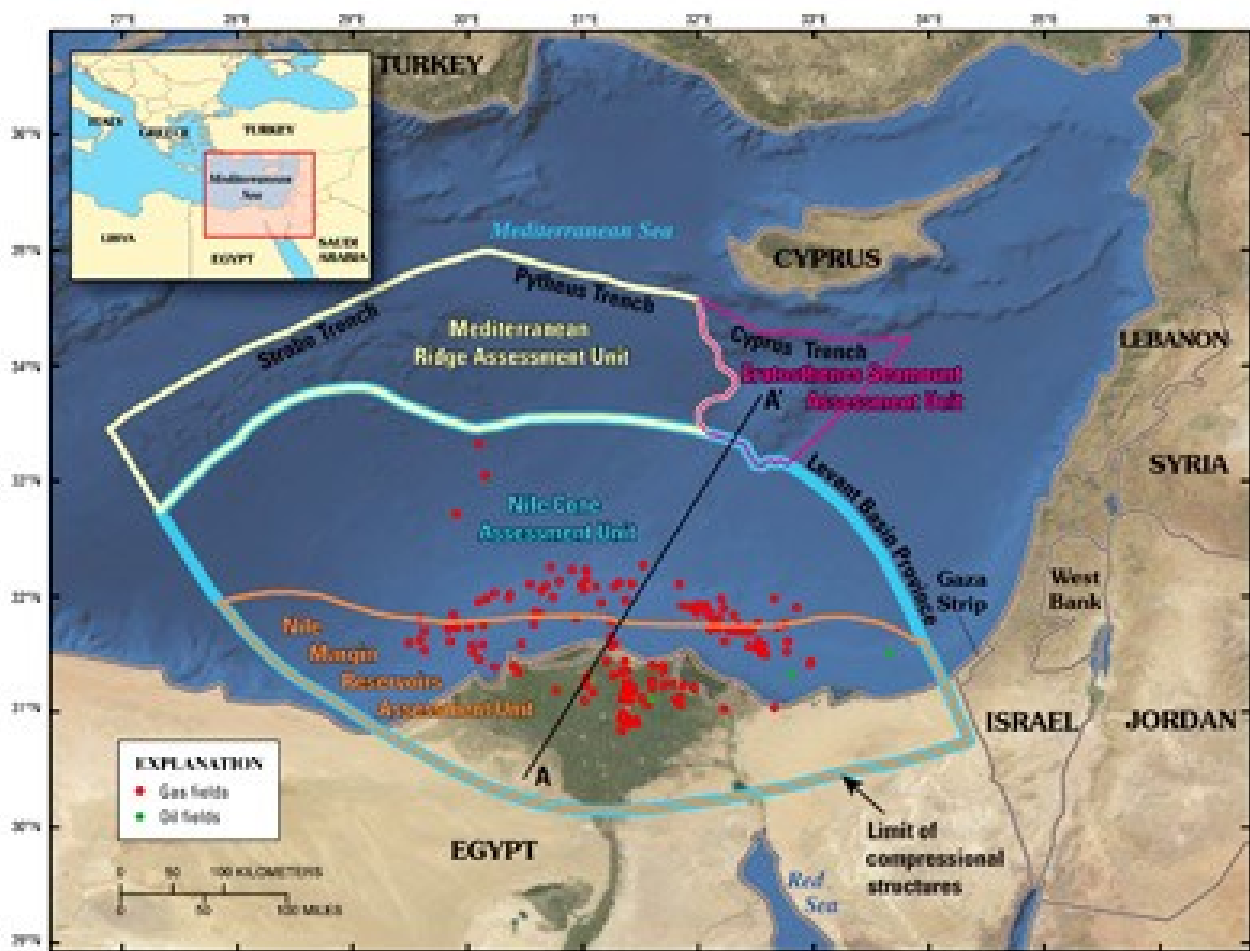


[Carta geologica Egitto]

La Repubblica Araba d'Egitto, denominata Misr in lingua autoctona, è uno stato collocato tra Africa ed Asia, che mette quindi in comunicazione questi due continenti; nello specifico, esso comprende sia una porzione dell'angolo nord-orientale africano, in gran parte occupata dalle sabbie del Sahara, sia la Penisola del Sinai, appartenente al Vicino Oriente. Questo rende effettivamente l'Egitto uno stato sia africano sia asiatico. In generale, l'Egitto si estende tra latitudini di 22°N e 32°N e longitudini di 25°E e 37°E, e di conseguenza viene attraversato dal Tropico del Cancro (23° 26'), il che lo rende climaticamente una regione sia tropicale sia subtropicale. La sua forma può essere approssimata ad un quadrato, la cui massima lunghezza N-S è di 1.100 km, quella W-E è di 1.230 km, per una superficie totale di 1.001.449 km<sup>2</sup>. L'Egitto è delimitato a Nord dal Mar Mediterraneo, ad Ovest dalla Libia, a Sud dal Sudan, a Est da Israele, dalla Palestina e dal Golfo di Aqaba (Mar Rosso). Geograficamente, l'Egitto può essere diviso in quattro regioni: la valle ed il delta del Nilo, il deserto occidentale, il deserto orientale e la Penisola del Sinai. La valle ed il delta del Nilo formano la più piccola delle regioni dell'Egitto, con un'area di circa il 3,5% della superficie totale, ma l'importanza di questo fiume in una regione estremamente povera di corsi d'acqua rende questa zona la più peculiare di tutto lo stato. Il Nilo attraversa tutto l'Egitto, correndo da Sud verso Nord per più di 1.530 km con un percorso meandriforme, scavando una valle che si allarga gradualmente procedendo verso Nord; durante il suo tratto egiziano esso non riceve acqua da nessun altro fiume perenne ma, soprattutto nella sua sponda orientale, sono visibili le tracce di diversi uadi, corsi d'acqua di carattere non perenne che, in seguito ad eventi piovosi sufficientemente intensi, vengono attivati e drenano le acque con regimi anche piuttosto turbolenti, come dimostrano i loro canali profondamente incisi, al punto da formare dei canyon. A Nord del Cairo la valle del Nilo si apre, formando il delta del fiume; in questo punto il Nilo si divide in due bracci, uno orientale detto Ramo di Damietta e uno occidentale detto Ramo di Rosetta. Il deserto occidentale comprende tutto il territorio che si trova ad Ovest rispetto alla valle del Nilo, ed è la più grande delle regioni geografiche dell'Egitto, occupando più dei due terzi dell'area totale. In questa zona si possono trovare vasti mari di dune e piane sabbiose, penepiani e depressioni; infatti, numerose zone in quest'area sono al di sotto del livello del mare. Tra di esse spicca la vasta depressione di El Qattara, nel quale si ritrova il punto più basso dell'intero Egitto, con una quota di 145 m sotto il livello del mare. La caratteristica più importante del deserto occidentale è il Grande Mare di Sabbia, parte nord-orientale del deserto libico, che presenta vaste dune longitudinali createsi a causa dei forti venti che spazzano la regione. Suddivisione interna dell'Egitto Il deserto orientale comprende tutto il territorio che si trova ad Est rispetto alla valle del Nilo, ed è costituito da plateau e montagne che formano i picchi più alti dell'intero stato, con quote superiori ai 2.000 m sul livello del mare. Questa regione presenta inoltre condizioni più umide rispetto alla controparte occidentale, come si può dedurre dalla presenza di uadi piuttosto larghi, che drenano le acque sia in direzione del Mar Mediterraneo, sia in direzione del Mar Rosso. La penisola del Sinai si colloca fra l'Africa e l'Asia, ed essendo circondata principalmente da mari (Mar Mediterraneo a Nord, Golfo di Suez a Sud-Ovest, Golfo di Aqaba a Sud-Est) presenta caratteristiche peculiari e differenti dal resto della regione, con montagne e colline solcate da uadi a Sud e vaste piane sabbiose verso Nord. Delle regioni alle quali è stato accennato, sole le prime due sono direttamente coinvolte nell'area di studio; tra di esse, è comunque il deserto occidentale ad essere presente in maniera preponderante. Le formazioni rocciose dell'Egitto possono essere divise in due categorie principali: il basamento cristallino e la copertura sedimentaria. Il basamento cristallino è di età Precambriana (le rocce più antiche sono datate 2.7 Ga) e, pur affiorando piuttosto sporadicamente, è presente in tutto l'Egitto al di sotto della copertura sedimentaria. Questo basamento fa geologicamente parte dello Scudo Nubiano, separatosi dallo Scudo Arabo in seguito all'apertura del Mar Rosso. Le rocce del basamento possono essere collocate in tre distinte unità tettonico-stratigrafiche (Hermina et al., 1989, da "The Geomorphology of Egypt" Nabir Sayed Embari): un'unità Archeana e primo-Proterozoica fortemente metamorfosata, composta da rocce granoblastiche, graniti gneissosi e miloniti, un'unità tardo-Proterozoica composta da ofioliti di arcoisola con sottili intercalazioni marine di natura più o meno carbonatica, e un'unità Fanerozoica che comprende intrusioni magmatiche intraplacca essenzialmente alcaline e sporadicamente le loro controparti effusive. La penisola del Sinai ed il deserto orientale da The Gateway to Astronaut Photography of Earth Le rocce del basamento sono sovrastate da una copertura sedimentaria che può a sua volta essere suddivisa in tre unità (Said, 1962, da "The Geomorphology of Egypt" Nabir Sayed Embari): l'unità Clastica Inferiore, di età Paleozoica fino a tardo-Cretacea, comprendente strati clastici (con intercalazioni lievemente calcaree) composti da sabbie depositatisi in diversi ambienti (marino, di spiaggia, fluviale), la cui origine è stata controllata

principalmente dai cicli di trasgressione e regressione marina, l'unità Intermedia Calcarea depositatasi dal tardo-Cretaceo alla fine dell'Eocene e comprendente una serie di strati calcarei, e l'unità Clastica Superiore, la più recente e visibile sull'intero territorio egiziano. Di questa, i depositi del Cenozoico alla base sono sabbie fluviali o marine intercalate a sedimenti vulcanoclastici, quelli del Quaternario sono costituiti da sabbie, silt e argille depositatesi in periodo recente e quindi modellate dagli agenti geomorfologici attuali: si possono riconoscere forme eoliche come mari di sabbia e campi di dune, preponderanti nel territorio egiziano, forme fluviali, deposte essenzialmente dal Nilo e da uadi di varia importanza, e forme marine e costiere, consistenti in calcari oolitici, marne, evaporiti e silt. Una caratteristica interessante è il ritrovamento nell'unità Clastica Inferiore di uno strato di till di origine glaciale, che fa supporre che nel tardo-Carbonifero la zona si trovasse a latitudini subpolari.

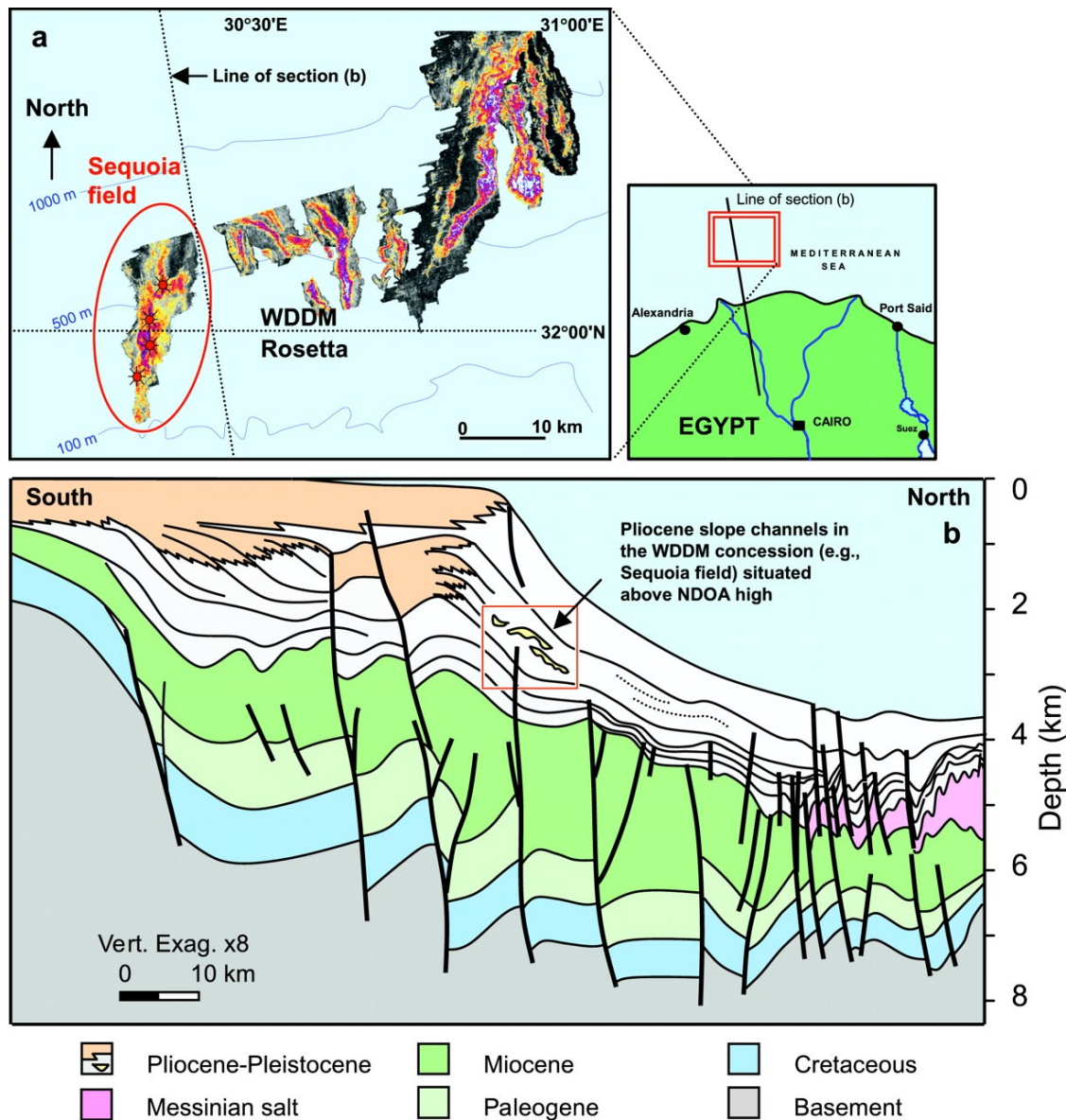
### 5.3.3 Fan del Nilo



[Inquadramento Fan del Nilo]

The Nile deep sea fan is a large sedimentary wedge, which has developed mainly since the Late Miocene in the eastern Mediterranean Sea (e.g. Salem, 1976). The morphology of the Nile deep sea fan results from the complex interplay between pre-Messinian inherited topography, salt-related deformation, and sediment gravity processes. Salt tectonism (e.g. diapirism, gravity spreading and gliding) on the Nile margin is related to the presence of a ductile Messinian salt layer within the sedimentary edifice (Masle et al., 2000; Gaullier et al., 2000; Loncke et al., 2006). Sediment mass-wasting (e.g. slumping, debris flows) has occurred on the entire Nile fan, in response to various processes, such as salt-tectonism, sediment overloading and fluid circulation. In particular, the Central Nile Province is characterized by a highly destabilised seafloor surface, which shows repeated sediment failures and debris flows (Loncke et al., 2002

Loncke et al., 2004). Loncke et al. (2004) suggested that sediment instability in the Central Nile Province may be related to circulation of gas-rich fluids within sub-surface sediments. A large number of seafloor structures related to fluid venting were recognised on the Nile margin during recent geophysical surveys (Fig. 1; Bellaiche et al., 2001; Loncke et al., 2002; Loncke et al., 2004). Numerous gas chimneys and associated mud volcanoes and cones were identified in Eastern (e.g. Isis, Amon, Osiris; see Fig. 1) and Western provinces. Many of these structures have been emplaced in areas where Messinian salt layers are absent in the sedimentary cover or have thinned down significantly, thereby allowing deep pre-Messinian fluids to migrate upward along major faults. Other smaller Bayon et al., revised version to Marine Geology, EUROMARGINS Special Issue (27/05/08) seafloor structures related to fluid venting were identified on the Nile margin from ship-borne multibeam acoustic images. They correspond to numerous highly-reflective patches, attributed to small pockmarks and/or mounds (Fig. 1; Loncke et al., 2004). Those patches are clustered in two areas : in the Eastern province, in close proximity to gas chimneys; and in the Central Nile Province, associated with destabilized sediments. In the Central Province, those highly reflective acoustic patches occur mainly at water depths ranging from ~ 500 m down to 2500 m. One important objective of the MEDIFLUX project was to characterise those acoustic patches identified on ship-borne multibeam seafloor maps and to establish their relationship with fluid seepage and slope instability.



[ Sezione geologica del Fan del Nilo ]

### 5.3.4 Eratosthenes Seamount

Eratostene è un rilievo sottomarino localizzato nel Mediterraneo Orientale approssimativamente 100 km a sud di Cipro, alle coordinate 33°40' N e 32°40' E. È stato battezzato in onore del grande geografo ellenistico Eratostene di Cirene. È un guyot di grandi dimensioni: 120 km circa in lunghezza e 80 km in larghezza. La sommità, appiattita, giace alla profondità di 690 m sotto il livello del mare e si eleva 2000 m sopra il fondale marino circostante, che è posto pertanto alla profondità di 2700 m e fa parte della omonima Piana abissale. È di forma ellittica con l'asse maggiore orientato in direzione NordOvest-SudEst.

Recenti studi fanno ipotizzare che la nascita di Eratostene sia correlata alla separazione del margine continentale nordafricano durante l'era Mesozoica. Dopo l'inizio dell'afflusso di acqua nel Cretaceo inferiore, il seamount fu sommerso completamente nel Cretaceo superiore, durante la genesi degli ofioliti dei monti Troodos (Cipro) parte della crosta oceanica del Neotetide meridionale adiacente a Gondwana. Il seamount rimase sommerso durante il Maastrichtiano e Paleogene, per sollevarsi di nuovo a partire dal Miocene. L'Eratostene era emerso durante il periodo Messiniano, in cui il Mar Mediterraneo era essiccato. Durante i periodi Neogene-Pleistocene, la crosta oceanica del Bacino di Levante sprofondava lungo il confine settentrionale della placca, tra Cipro ed Eratostene. Durante il Pliocene-Pleistocene il seamount Eratostene subì una ulteriore intensa subsidenza per l'iniziale collisione con Cipro, e questa collisione fu associata inoltre col sollevamento della parte meridionale di Cipro. Questo processo combinato di abbassamento e sollevamento che giustappongono il margine dell'Eratostene alla litosfera oceanica di Cipro è considerato un notevole esempio di ofioliti da incipiente obduzione.

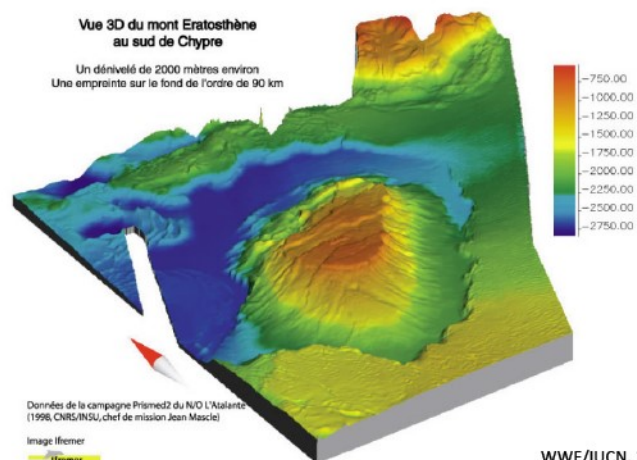


#### Eratosthenes:

- Large seamount that in size approaches those of some Atlantic counterparts (Bell and Brennan, 2013)
- It has been intensively studied by geologists (Emery et al., 1966; Ben-Avraham, 1976; Nesteroff & Maurice, 1979; Krasheninnikov et al., 1994; Robertson et al., 1994, 1995; Leg 160 Scientific Party, 1996; etc.).
- Slightly elongated, massive, flat-topped rise (33°40'N, 32°40'E), measuring approximately **120 km in diameter** at the base and rising **1,500 m** above the adjacent abyssal plain, with a **summit 756 m** below sea level.
- The centre of the flat top (surface generally sloping down northward, **33 km wide NE-SW**, 28 km NW-SE) lies **~100 km south of Cyprus** and **~220 km** off the African and Asian coasts.
- Directly adjacent to the seamount is a deep (**~2750m**) depression, part of the Herodotus abyssal plain.



Ehrhard, et al., 2010



Données de la campagne Primed2 du N/O L'Azalante (1996, CNRS/INSU, chef de mission Jean Mascle)

Image Ifremer

Ifremer

WWF/IUCN, 2004

[ Morfologia Eratostene seamount]

### 5.3.5 Conclusioni

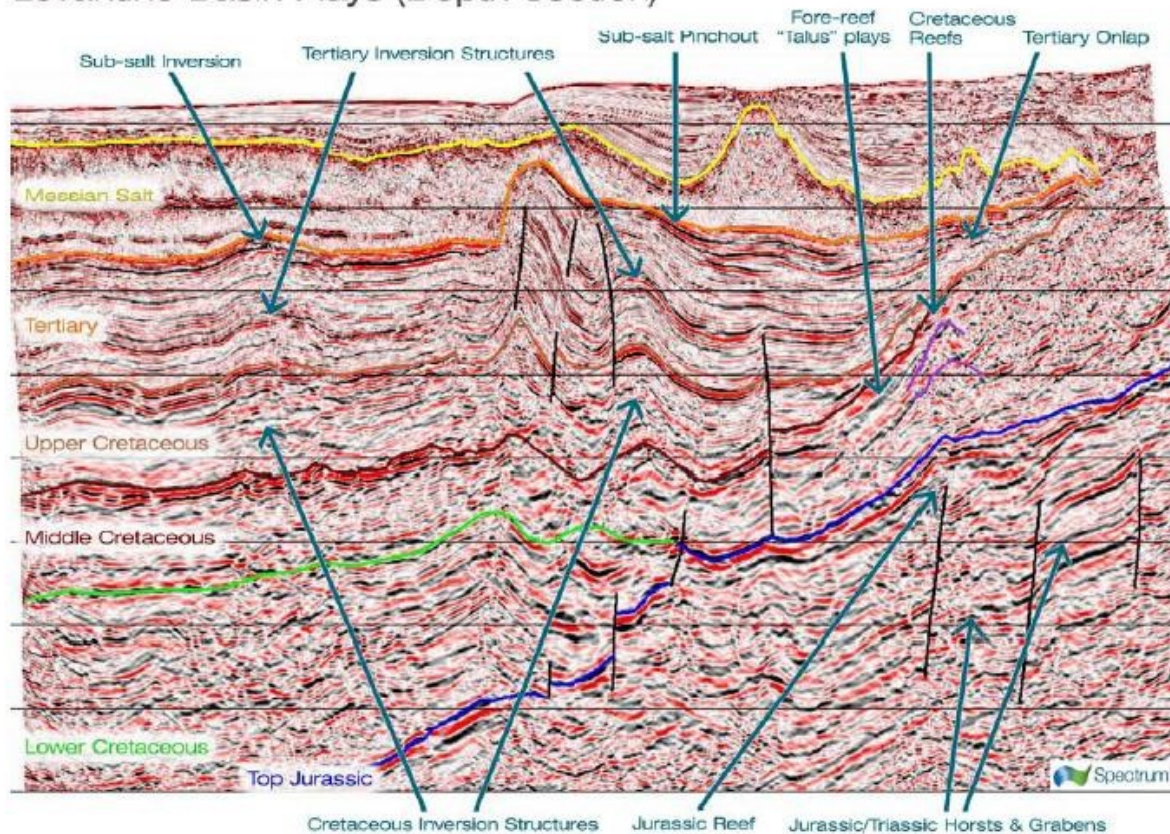


[Posizione pozzo Zohr X1 nel Mar di Levante]

La recente scoperta del giacimento di gas naturale nell'offshore egiziano mette in luce quelle che sono le variegate problematiche geologiche e petrologiche riguardo l'origine degli idrocarburi. In particolare modo, l'interpretazione ufficiale prevede una formazione idrocarburica strettamente legata alle rocce di natura carbonatica del Delta del Nilo (roccia madre) e vincolata al rispettivo importo organico da parte di quest'ultimo. I principali sostenitori della teoria sull'origine abiotica degli idrocarburi propongono un quadro geologico-petrologico del tutto differente: in virtù della posizione del pozzo Zohr X1, che è più a nord rispetto al fan del Nilo, della visione Neotetidea del Mediterraneo e in questo caso del mar di Levante e della possibile origine diapirica del seamount di Eratostene, si pensa che tale giacimento idrocarburico si sia formato su un relitto Neotetideo (quale appunto l'offshore egiziano) per diapirismo serpentinitico. Infatti il seamount sottostante a Cipro diviene la struttura portante di quest'ultima interpretazione petrologica, non che l'elemento fondamentale per l'innovazione degli strumenti e delle metodologie di ricerca dei combustibili fossili, lungo una possibile e nuova fonte energetica rappresentata appunto dal Mediterraneo: naturalmente il tutto è stato maggiormente focalizzato grazie all'indagini geologiche e geofisiche e ai vari studi condotti sia sul fondo del mediterraneo orientale sia sulle formazioni ofiolitiche in continente.



## Levantine Basin Plays (Depth Section)



2. Diagram of Levantine Basin Hydrocarbon Plays from the study using Spectrum's Depth Imaged data.

### 6.0 Bibliografia e Sitografia

-Mud volcanoes, gas chimneys, pockmarks and mounds in the Nile deep-sea fan (Eastern Mediterranean): geophysical evidences .

Lies Lonckea,\* , Jean Mascleb, Fanil Scientific Parties

aDe ´partement de Ge ´ologie, Universite ´ de Picardie Jules Verne, 33 rue de Saint Leu, 80039 Amiens, France bGe ´osciences-Azur, site de Villefranche, BP 48, 06235 Villefranche/mer, France

Received 23 October 2003; received in revised form 20 December 2003; accepted 24 February 2004.

-Geologia. — Evoluzione dei bacini profondi del Mediterraneo documentata dalle variazioni nelle velocità di sedimentazione nel Plio-Pleistocene.

Nota di Maria Bianca Cita, Sonia Racchetti, Raffaella Brambilla, Luigi Bertarini, Daniele Colombaroli, Luca Morelli, Mauro Negri, Matthias Ritter, Enrico Rovira, Paola Sala e Simona Sanvito, presentata (\*) dal Socio M. B. Cita.

-On the Mesozoic Ionian Basin.

R. Catalano, C. Doglioni and S. Merlini.

-Distribution of mud diapirism and other geological structures from long-range sidescan sonar (GLORIA) data, in the Eastern Mediterranean Sea.

N. Fusi-Neil Kenyon

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Milano, via Mangiagalli 34, 20133 Milano, Italy  
Marine Geology (Impact Factor: 2.71).

-Menes caldera, a highly active site of brine seepage in the Eastern Mediterranean sea: "In situ" observations from the NAUTINIL expedition (2003).

Huguen Caroline, Foucher Jean-Paul<sup>1</sup>, Mascle J., Ondreas Helene, Thouement M., Gontharet S., Stadnitskaia A., Pierre C., Bayon Germain, Loncke L., Boetius A., Bouloubassi I., De Lange G., Caprais Jean-Claude, Fouquet Yves, Woodside J., Dupre Stephanie.

-Multi-disciplinary investigation of fluid seepage on an unstable margin: The case of the Central Nile deep sea fan.

G. Bayona, \*, L. Loncke, S. Dupré, C. J.-C. Caprais, E. Ducassou, S. Duperron, J. Etoubleau, J.-P. Fouchera, Y. Fouquet, S. Gontharet, G.M. Henderson, C. Hugueni, I. Klaucek, J. Mascle, S. Migeon, K. Olu-Le Roy, H. Ondreaș, C. Pierreg, M. Sibuet, A. Stadnitskaia and J. Woodside.

-Seafloor geological studies above active gas chimneys off Egypt (Central Nile Deep Sea Fan).

Stéphanie Dupré, , John Woodside, Jean-Paul Foucher, Gert de Lange, Jean Mascle, Antje Boetius, Vincent Mastalerz, Alina Stadnitskaia, Hélène Ondreaș, Caroline Hugueng, François Harmégnies, Swanne Gonthareth, Lies Loncke, Eric Deville, Helge Niemanne, Enoma Omoriege, Karine Olu-Le Roy, Aline Fiala-Medionil, Anke Dählmann, Jean-Claude Caprais, Alain Prinzhof, Myriam Sibuet, Catherine Pierreh, Jaap Sinninghe Damsté, the NAUTINIL Scientific Party.

-<http://www.dipbiogeo.unict.it/scrivano/serpentinizzazione-vita/>

-[http://www.eni.com/it\\_IT/home.html](http://www.eni.com/it_IT/home.html)

-<http://www.google.it/intl/it/earth/index.html>

-<http://www.beg.utexas.edu/indassoc/agl/animations/AGL95-MM-001/>

-<http://www.luniversoeluomo.org/geolog/geo-ita.htm>

-<http://www.siripro.it/dipgeopa.asp?structure=education&where=regionale&cap=09&lang=it>