

Geografia dello sviluppo.
Ambiente e risorse energetiche.
(Risorse- Economia- Ambiente)

Lezione 2

Martedì 13 marzo 2018

**Combustibili fossili.
Picco di Hubbert I.**

2 ore

Totale ore 4/48

Cosa sono i combustibili fossili

I combustibili fossili, carbone, petrolio e gas, sono quanto resta dei corpi di organismi viventi, prevalentemente vegetali, che, per le particolari condizioni in cui si sono depositati ed accumulati non hanno subito in modo completo il processo di decomposizione che normalmente avviene ad opera degli organismi decompositori.

Gli organismi fotosintetici assorbono CO_2 dall'atmosfera, acqua ed altri elementi dal suolo, e attraverso un complesso meccanismo trasformano il carbonio della CO_2 , combinato con l'idrogeno tratto dall'acqua (H_2O) ed gli altri elementi, nei loro tessuti.

Essenzialmente I nostri corpi ed I corpi degli altri organismi viventi sono fatti di carbonio e acqua. Quando essi muoiono gli organismi decompositori tornano a trasformare i tessuti in CO_2 e H_2O . Se però questa decomposizione non è completa parte dei tessuti ricchi in carbonio e idrogeno formano i combustibili fossili.

Come si presentano i combustibili fossili

- Carbone



- Idrocarburi

- Petrolio
- Gas



Idrocarburi. Petrolio (e gas)

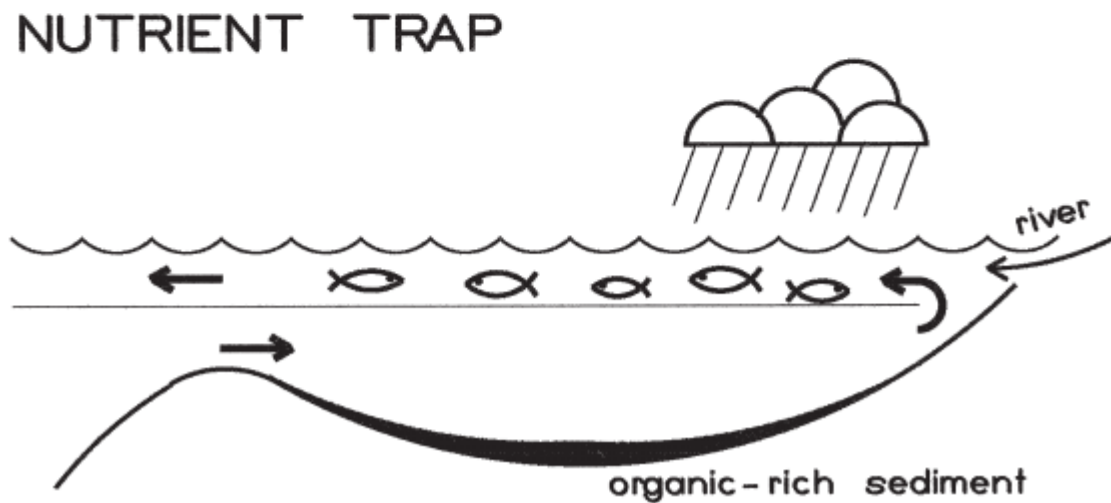
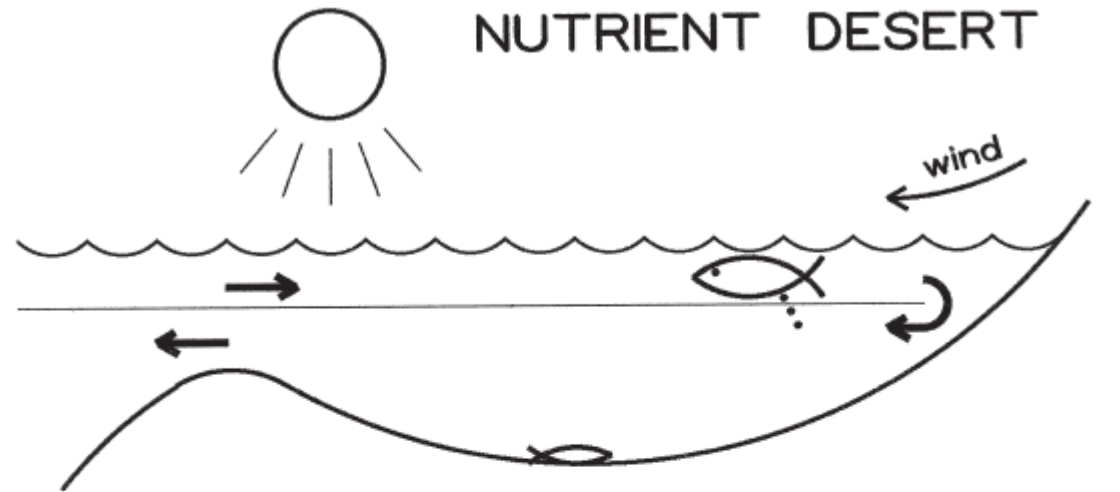
Il petrolio è costituito da una miscela di idrocarburi che si sono originati dalla decomposizione di materia organica in assenza di ossigeno in pochi episodi di riscaldamento globale centinaia di milioni di anni fa. I resti di organismi marini, prevalentemente alghe, in periodi di forte riscaldamento si depositarono sul fondo del mare o di laghi e lagune e li furono sepolti di sedimenti. La formazione del petrolio dalla materia organica originaria è un processo abbastanza ben conosciuto che necessita una vera e propria "cottura" a temperature non inferiori a 60- 80 °C a non oltre i 150°C.

Queste condizioni si trovano mediamente nella crosta terrestre a profondità non inferiori a circa 2 Km e non superiori a 4,5 Km, la cosiddetta **finestra del petrolio**. Quando le rocce finiscono a profondità superiori, e corrispondentemente a temperature superiori, la cottura del materiale ha come prodotto il metano. Coerentemente con questo quadro generalmente un giacimento di idrocarburi ha le caratteristiche descritte nella figura che segue. La **roccia madre** che contiene inizialmente il materiale organico e nel quale esso è maturato all'interno della finestra del petrolio. Un **"resevoir" (roccia contenitore)** una formazione rocciosa che assorbe gli idrocarburi che migrano dalla roccia madre. Una **copertura** che sigilla gli idrocarburi nel "reservoir". Una **trappola geologica** che raccolga il fluido senza lasciarlo sfuggire.

L'origine del petrolio (e del gas)

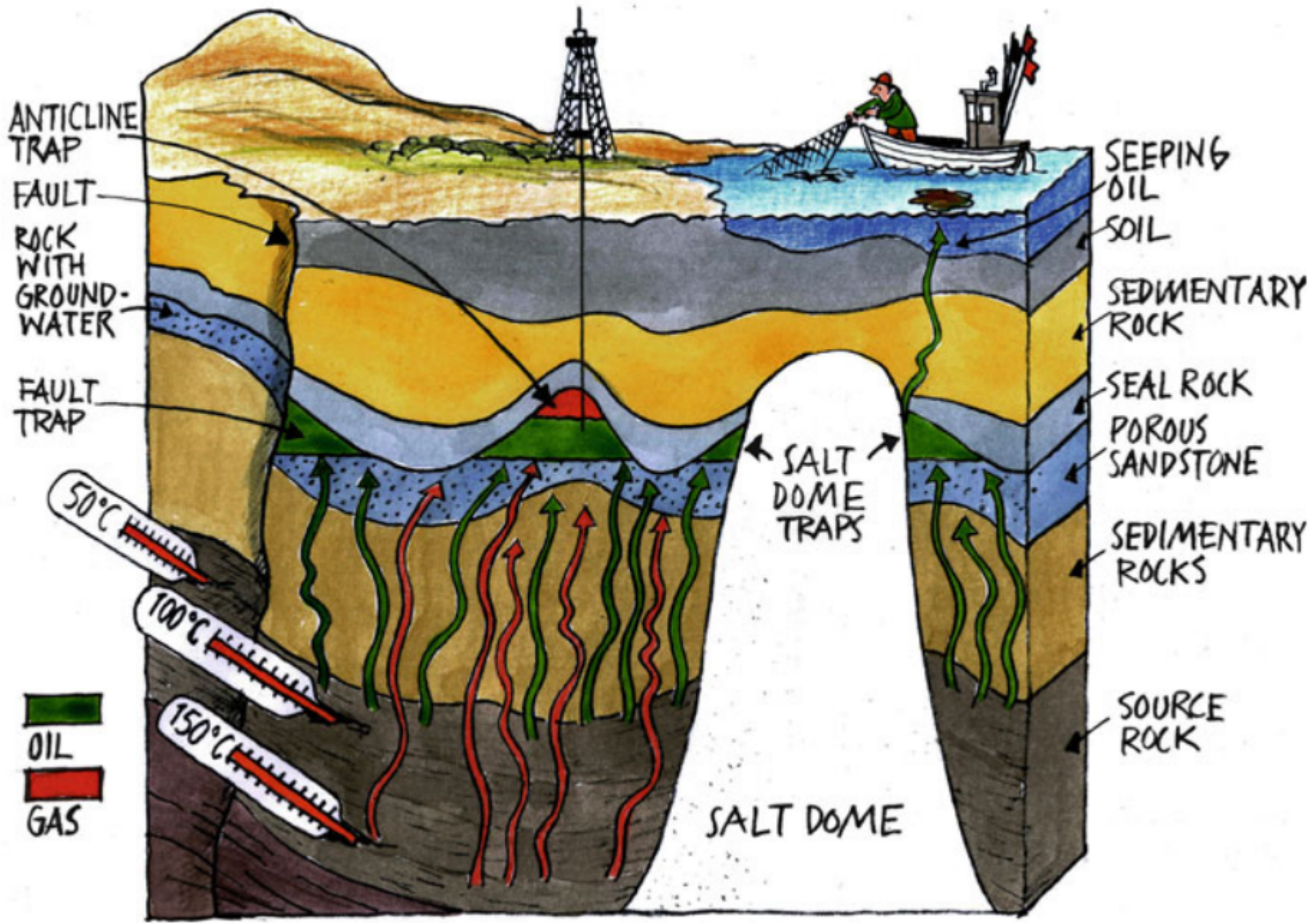
I sedimenti ricchi di materia organica si formano nelle condizioni di "trappola dei nutrienti". In una situazione come quella raffigurata nella figura superiore l'acqua della laguna ha un rapido ricambio e rimane ossigenata in modo che qualsiasi organismo in decomposizione viene interamente decomposto dagli organismi decompositori. La decomposizione può essere vista come la reazione chimica opposta a quella di fotosintesi in cui i tessuti morti vengono interamente riportati a CO_2 e acqua (lo stesso risultato di una combustione, ma con altri mezzi). Quando, come nell'esempio della figura inferiore, in una laguna bassa vicino all'estuario di un fiume l'acqua si stratifica, il fondo viene rapidamente privato dell'ossigeno necessario ai decompositori per decomporre totalmente la materia organica che si accumula nei sedimenti. Questi sedimenti poi, rapidamente coperti da altri sedimenti, scendono nella crosta terrestre si compattano e, raggiungendo le pressioni e temperature adeguate, vedono la digestione/cottura della parte organica in petrolio e, se la temperatura è alta, gas.

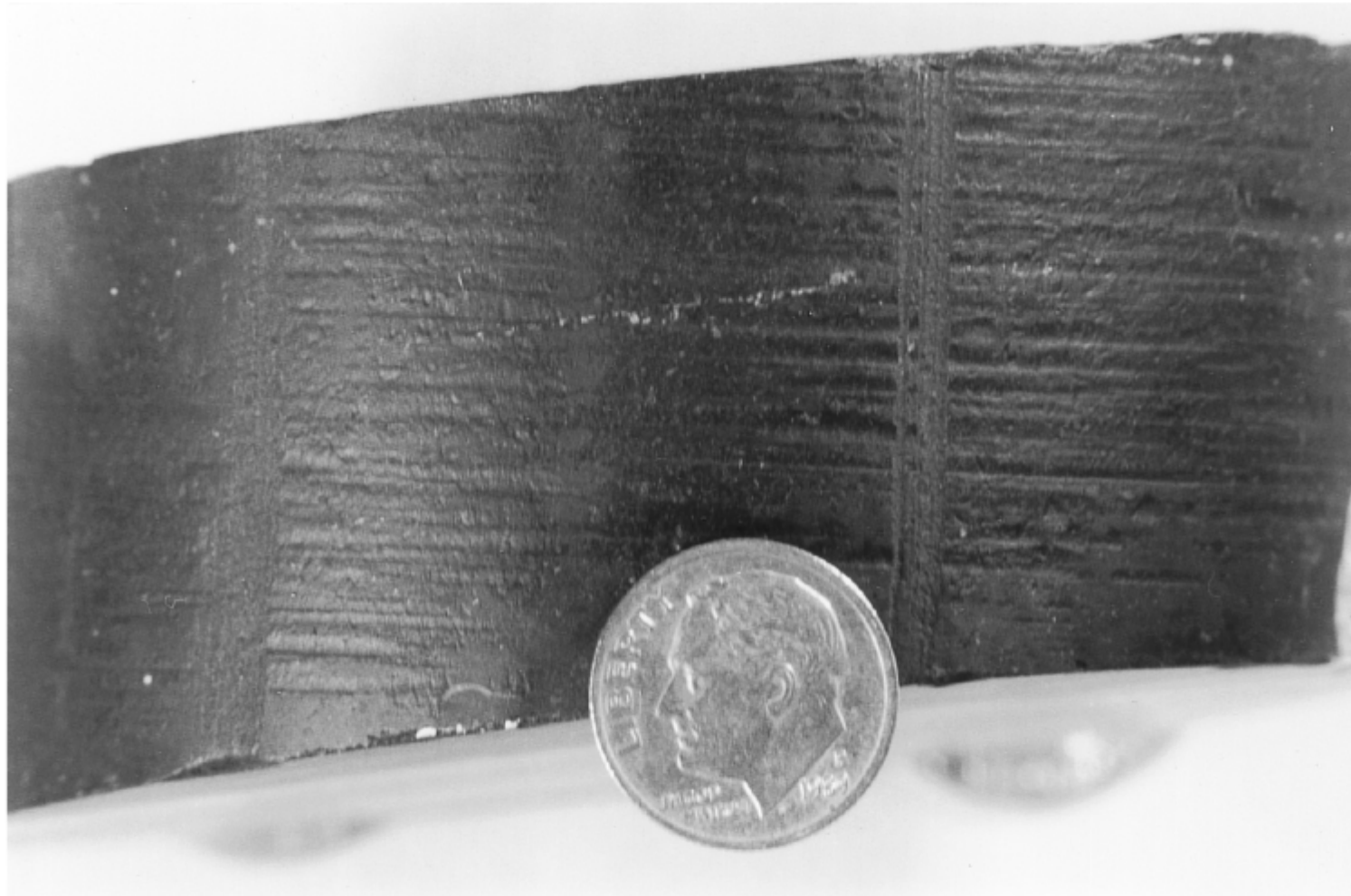
L'origine del petrolio (e del gas)



Un giacimento di idrocarburi contiene una formazione rocciosa profonda detta "roccia madre" che rappresenta il sedimento originario che si è formato sul fondo di un bacino marino e nella quale si è formato l'idrocarburo che sarà petrolio a gas a seconda della sua storia successiva alla sedimentazione (passaggio o meno nella finestra del petrolio). Da tale roccia una parte almeno del fluido (gas o liquido) migra in una formazione superiore costituita da una roccia porosa (che può essere arenaria- sandstone- la pietra gialla di cui è fatto palazzo Pitti oppure un calcare). Tale formazione si chiama "roccia serbatoio". Al di sopra di questa roccia serbatoio si trova una roccia di copertura (seal rock) che deve essere impermeabile agli idrocarburi in modo che essi non continuino il loro cammino fino alla superficie dove sarebbero decomposti dai batteri. Gli affioramenti di petrolio sono noti fin dall'antichità e il nome petroleum, olio di pietra, lo testimonia. Il petrolio veniva usato per vari scopi già dall'antichità soprattutto come bitume per l'impermeabilizzazione degli scafi o dei ponti delle navi. Se la roccia di copertura è incurvata si determinano le condizioni per l'esistenza di una trappola anticlinale (con la concavità verso il basso) nella quale il gas e il petrolio si accumulano come mostrato in figura (anticline trap). Esistono altri tipi di trappole come quelle in corrispondenza di faglie di scorrimento (fault trap) o intorno a delle formazioni di sale (salt trap).

Se la roccia madre contenente il sedimento ricco di materia organica non scende nella crosta terrestre fino a profondità sufficienti affinché si formi il petrolio, il sedimento resta come un materiale di tipo ceroso, detto kerogene. Rocce ricche di kerogene sono sfruttate per generare petrolio attraverso un intenso riscaldamento, ma il procedimento è ovviamente energivoro (cioè consuma molta energia riducendo così la resa del combustibile ottenuto).





This core from a well in the Paradox Basin (southeastern Utah) is a typically black source rock for oil. The Paradox Basin contains an abundance of source rocks; some informal estimates indicate that half the subsurface pore space in the basin is filled with oil.



Immagine di segmento di una carota di roccia di un giacimento di gas in Turkmenistan. Foto presa nel padiglione del Turkmenistan all'EXPO 2015 di Milano.

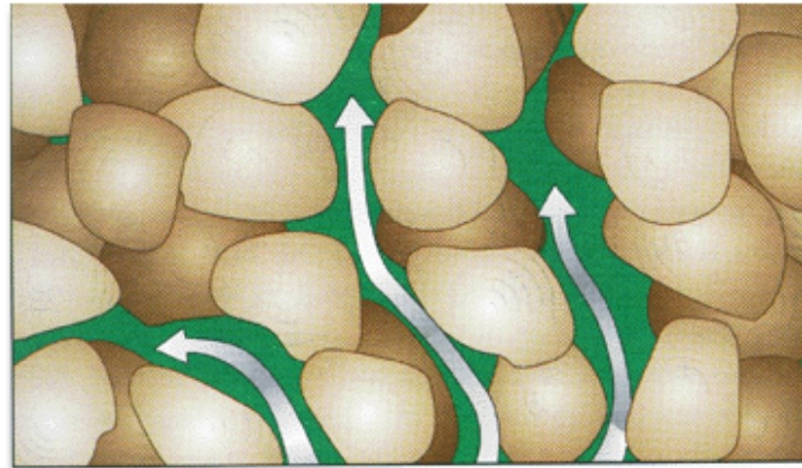
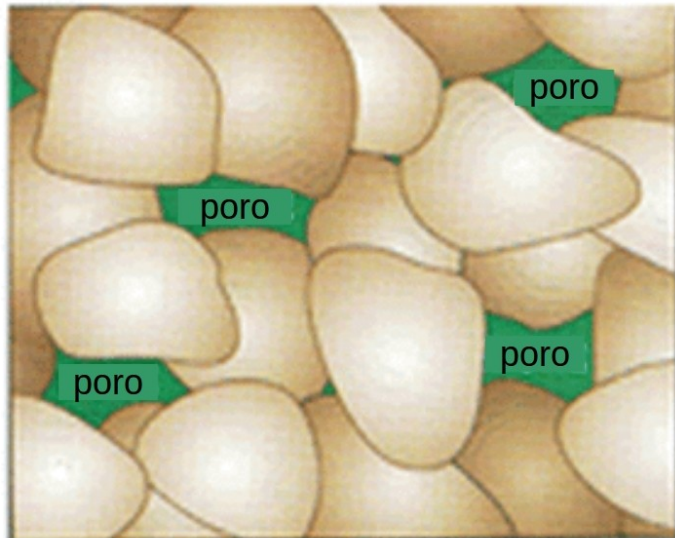


Hekdaş
Uly Balkan ýatagy
Semendiň çigmaly

Limestone Deposit
Big Balkan
Cement raw materials

Limestone = calcare

Porosità e permeabilità



Le condizioni in cui il petrolio si forma sono perciò abbastanza rigide e già questo ci fa capire che esso non può essere cercato ovunque. Tali condizioni sono cinque e costituiscono una *check list* che richiede di essere interamente soddisfatta affinché l'area esplorata contenga petrolio:

- 1) l'esistenza di una "roccia madre" ricca di sostanza organica, che sia rapidamente sepolta da sedimenti e sottratta così al contatto con l'atmosfera ossidante. I sedimenti così formati (**roccia madre**) devono essere portati in profondità, a temperature e pressioni che permettano la digestione/cottura delle complesse molecole organiche in molecole più piccole (**finestra del petrolio: 80- 150°C, 2,2 -4,5 Km di profondità**).
- 2) Esistenza di una "roccia serbatoio". Tale roccia accoglierà nei suoi pori il liquido formato nella cottura. Le rocce porose che possono contenere petrolio sono essenzialmente di due tipi: arenarie e calcari. Il petrolio è contenuto nelle porosità della roccia come acqua in una spugna.
- 3) Esistenza di una "roccia di copertura" che impedisca al petrolio di sfuggire verso la superficie della crosta terrestre. Tali rocce sono tipicamente denominate evaporiti, per esempio gesso anidro (Solfato di calcio) e salgemma (Cloruro di calcio: il sale da cucina). I grandi giacimenti petroliferi del Medio Oriente sono intrappolati proprio da uno strato di anidrite.
- 4) Esistenza di un "trappola" cioè una incurvatura delle rocce di copertura che impedisce al petrolio di sfuggire lateralmente alla formazione rocciosa.
- 5) Assenza di fratture nella roccia di copertura tali da far sfuggire il petrolio.

È solo al termine di questa gara di qualificazione, nella quale ciascun test deve essere superato con successo, che inizia il vero Camel Trophy petrolifero, cioè il processo di prospezione e perforazione alla ricerca dell'oro nero.

Petrolio (olio di roccia)

Il petrolio è un liquido complesso che contiene una grandissima quantità di composti chimici. I più leggeri di questi composti sono costituiti da molecole con un numero inferiore a 10 atomi di carbonio. In tali composti gli atomi di carbonio sono legati l'uno a l'altro a formare catene lineari o ramificate o anelli. Ciascun atomo di carbonio ha tre o quattro legami con gli atomi vicini. I legami in più rispetto a quelli con gli atomi di carbonio adiacenti nel composto sono saturati da atomi di idrogeno. Così, essenzialmente gli idrocarburi sono costituiti di carbonio e idrogeno.

Propano: tre atomi di carbonio. C_3H_8

Butano: quattro atomi di carbonio. C_4H_{10}

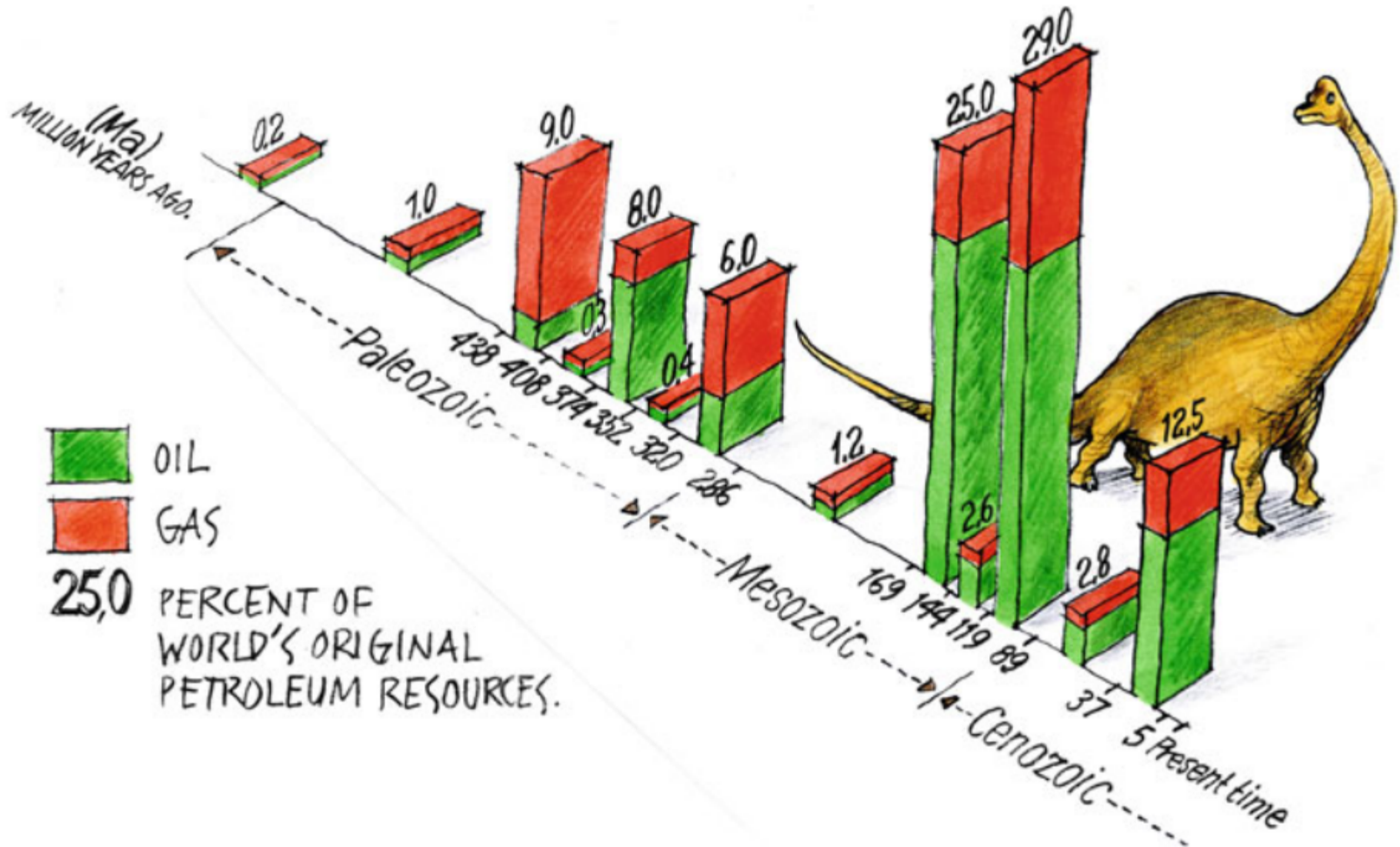
Altri composti contenuti negli idrocarburi sono gli idrocarburi aromatici come il benzene. E molti altri. Le frazioni più pesanti degli idrocarburi costituiscono il bitume, quelle più leggere le benzine, il gasolio e il kerosene (il combustibile degli aerei).

Quando e dove si sono formati gli idrocarburi: petrolio e gas

Le condizioni descritte si sono verificate in un numero limitato di eventi durati alcuni milioni di anni, centinaia di milioni di anni fa. Quasi il 60% del petrolio dei giacimenti terrestri noti si è formato in due grandi eventi nel Giurassico e nel Cretaceo. Cioè in un periodo che va da circa 150 a 65 milioni di anni fa. Gli eventi di formazione di idrocarburi si sono verificati in un pianeta che aveva un aspetto totalmente diverso da quello attuale, non solo per il tipo di flora e fauna, ma anche per la distribuzione dei continenti. I vari bacini petroliferi attuali disegnano, in un certo senso, i confini continentali in cui si verificavano le condizioni per la formazione dei sedimenti precursori del petrolio e del gas naturale.

Si pensa che questi eventi siano stati determinati da grandi fioriture algali (le analisi degli isotopi del carbonio danno indicazioni in questo senso) possibilmente determinate da fenomeni di riscaldamento climatico, seguiti da anossia del mare (assenza di ossigeno) e conseguente morte di grandi quantità di organismi che hanno costituito la materia organica dei sedimenti. Per completezza si deve dire che esiste anche una teoria sull'origine abiotica del petrolio e del gas come prodotti che si formano dalle rocce carbonatiche nelle profondità della crosta terrestre. Ma a questa teoria, piuttosto controversa, è attualmente dato poco credito. Si sa che una parte del metano (CH_4) ha origine abiotica, ma la velocità di formazione di questa parte di gas non giustifica le quantità accumulate nei giacimenti noti.

Le risorse di idrocarburi che si sono formate negli ultimi 600 milioni di anni.

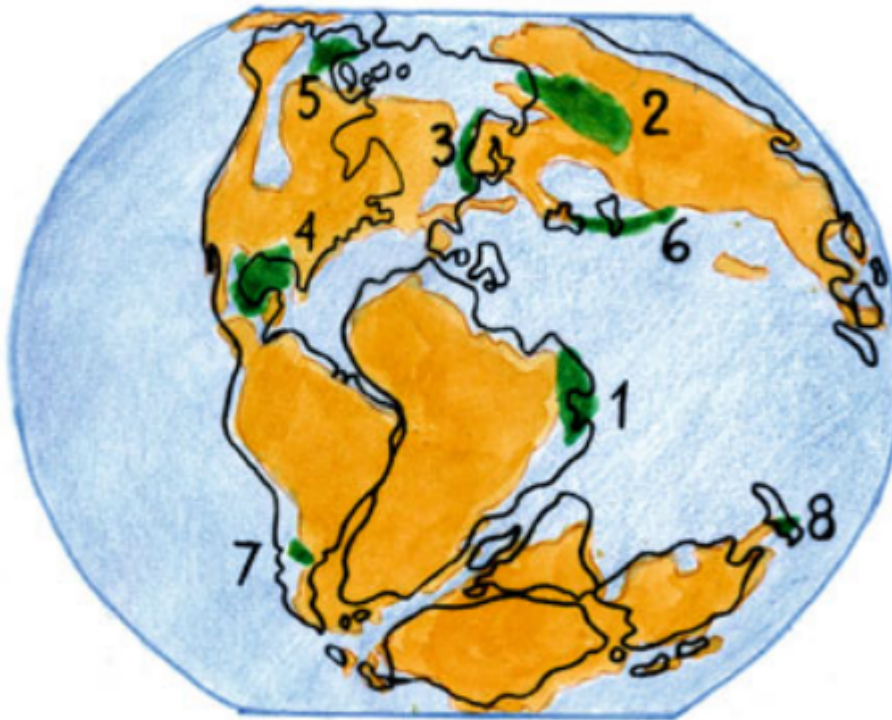


I bacini produttivi di idrocarburi

UPPER JURASSIC

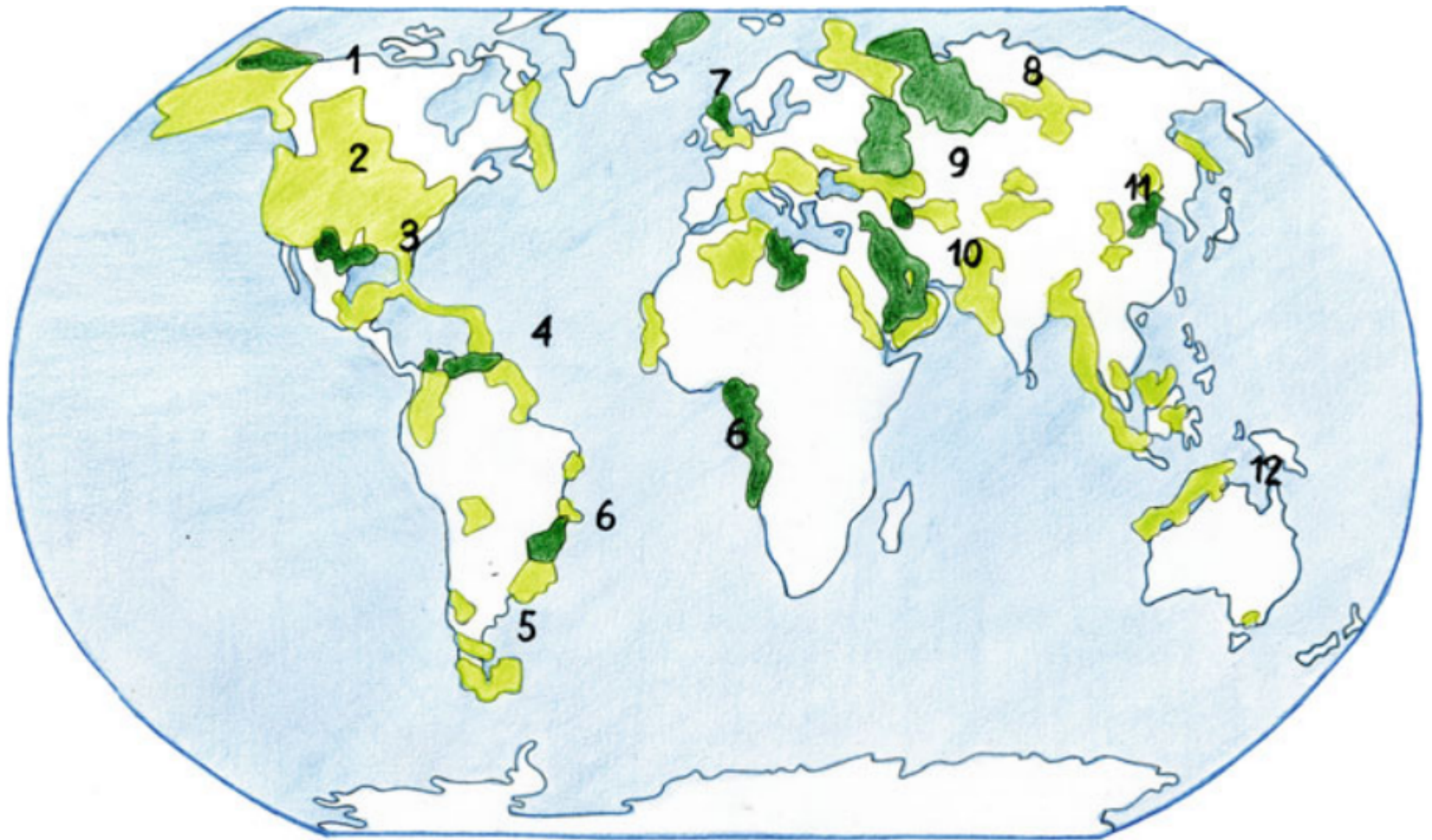
MIDDLE CRETACEOUS

PETROLEUM PRODUCING BASINS



- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1. ARABIAN-IRANIAN | 5. NORTH SLOPE |
| 2. WEST SIBERIA | 6. NORTH CAUCASUS |
| 3. NORTH SEA | 7. NEUQUEN |
| 4. GULF OF MEXICO | 8. PAPUA NEW GUINEA |

- | | |
|---------------------|-------------------|
| 1. ARABIAN-IRANIAN | 5. GULF COAST |
| 2. WEST SIBERIA | 6. NORTH CAUCASUS |
| 3. N. SOUTH AMERICA | 7. SOUTH ATLANTIC |
| 4. ALBERTA | 8. SONGLIAO |



1. NORTH SLOPE
 2. ALBERTA
 3. GULF COAST AND
 GULF OF MEXICO
 4. N. SOUTH AMERICA

5. NEUQUEN
 6. SOUTH ATLANTIC
 7. NORTH SEA
 8. WEST SIBERIA

9. NORTH CAUCASUS
 10. ARABIAN-IRANIAN
 11. SINGLIAD
 12. PAPUA NEW GUINEA

CONVENTIONAL OIL
 ENDOWMENT IN
 BILLIONS OF BARRELS (BBO)

1-40 BBO

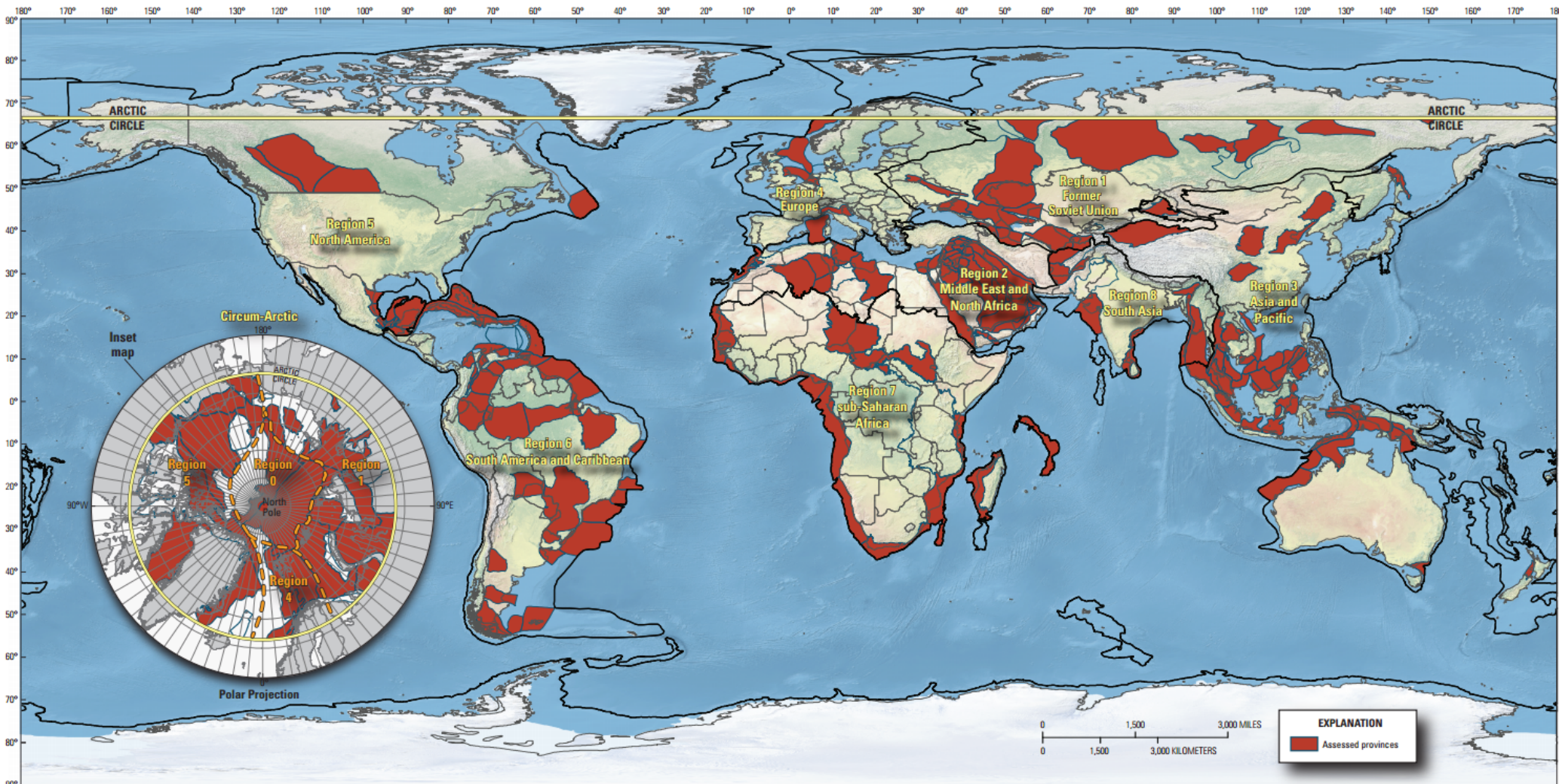
GREATER THAN
 40 BBO

Dove cercare petrolio e gas

La mappa del mondo che segue individua le zone in cui sono noti giacimenti di idrocarburi o in cui si pensa che vi possano essere, secondo un'indagine dell'USGS (United States Geological Survey, un'agenzia del governo USA che si occupa di risorse minerarie ed energetiche). Le zone sono numerate e ricalcano quanto riportato nelle cartine precedenti.

In Italia l'agenzia che si occupa delle risorse minerarie ed energetiche ha il nome di Direzione Generale per le Risorse Minerali ed Energetiche e fa parte del Ministero per lo Sviluppo Economico. Pubblica periodicamente un bollettino di aggiornamento sulle concessioni di coltivazione, le istanze di prospezione, ricerca e coltivazione di giacimenti sul territorio nazionale, sul livello di produzione pozzo per pozzo. La DGRME pubblica inoltre un bollettino annuale che riassume le condizioni dell'intero comparto minerario con particolare enfasi sulle risorse energetiche.

Il sito di questa agenzia è all'URL: <http://unmig.mise.gov.it/>



Perché siamo così tanto interessati ai combustibili fossili?

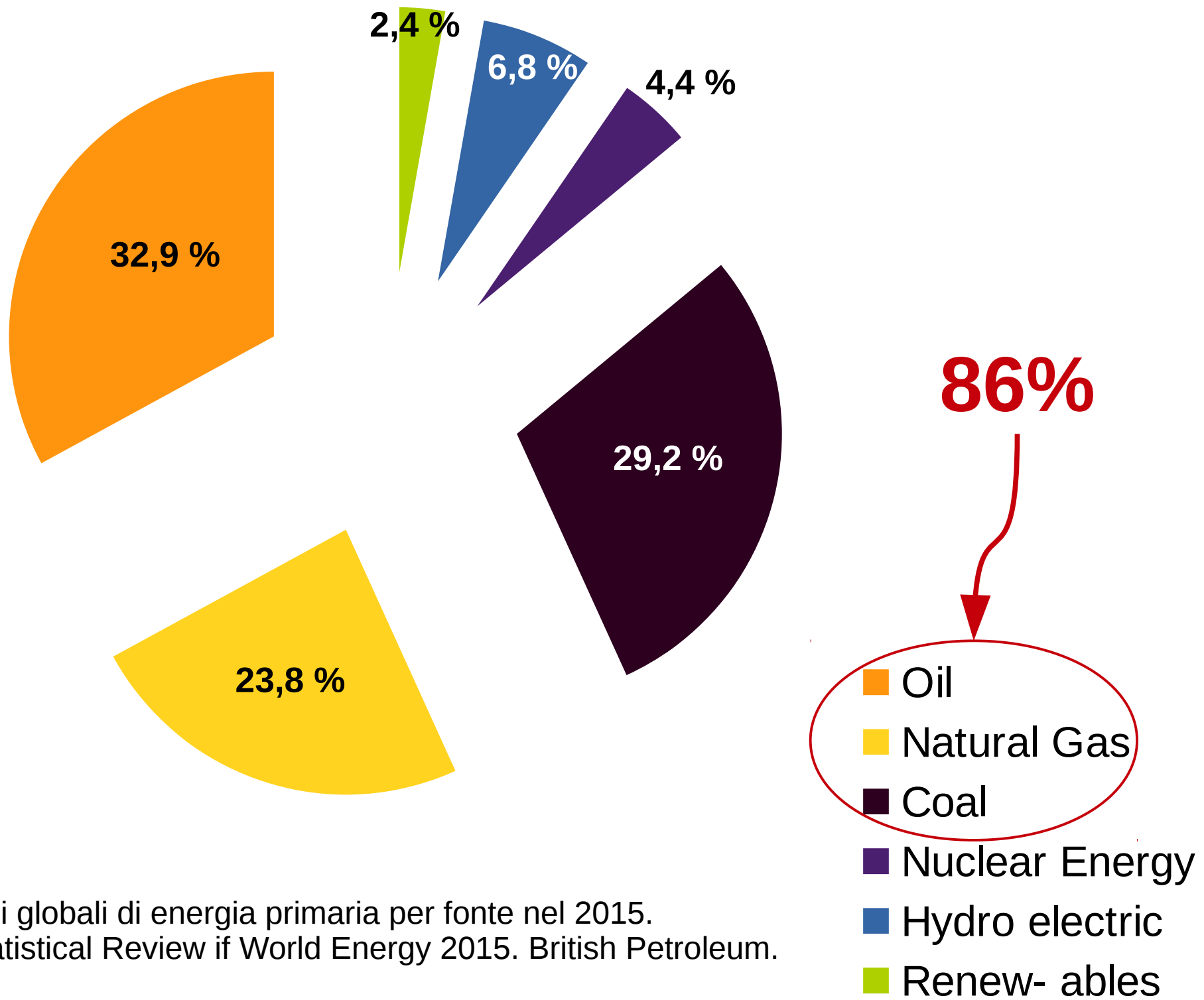
Perché nel 2015 essi coprivano l'86% dei consumi di energia primaria globale e nel 2016 l'83.2%. Comunque un chiaro segno di declino attribuito dagli osservatori a diverse possibili cause.

I dati riportati nelle figure di questa lezione sono presi dalla Statistical Review of Energy World della British Petroleum. Il database che ogni anno l'azienda petrolifera mette on line gratis.

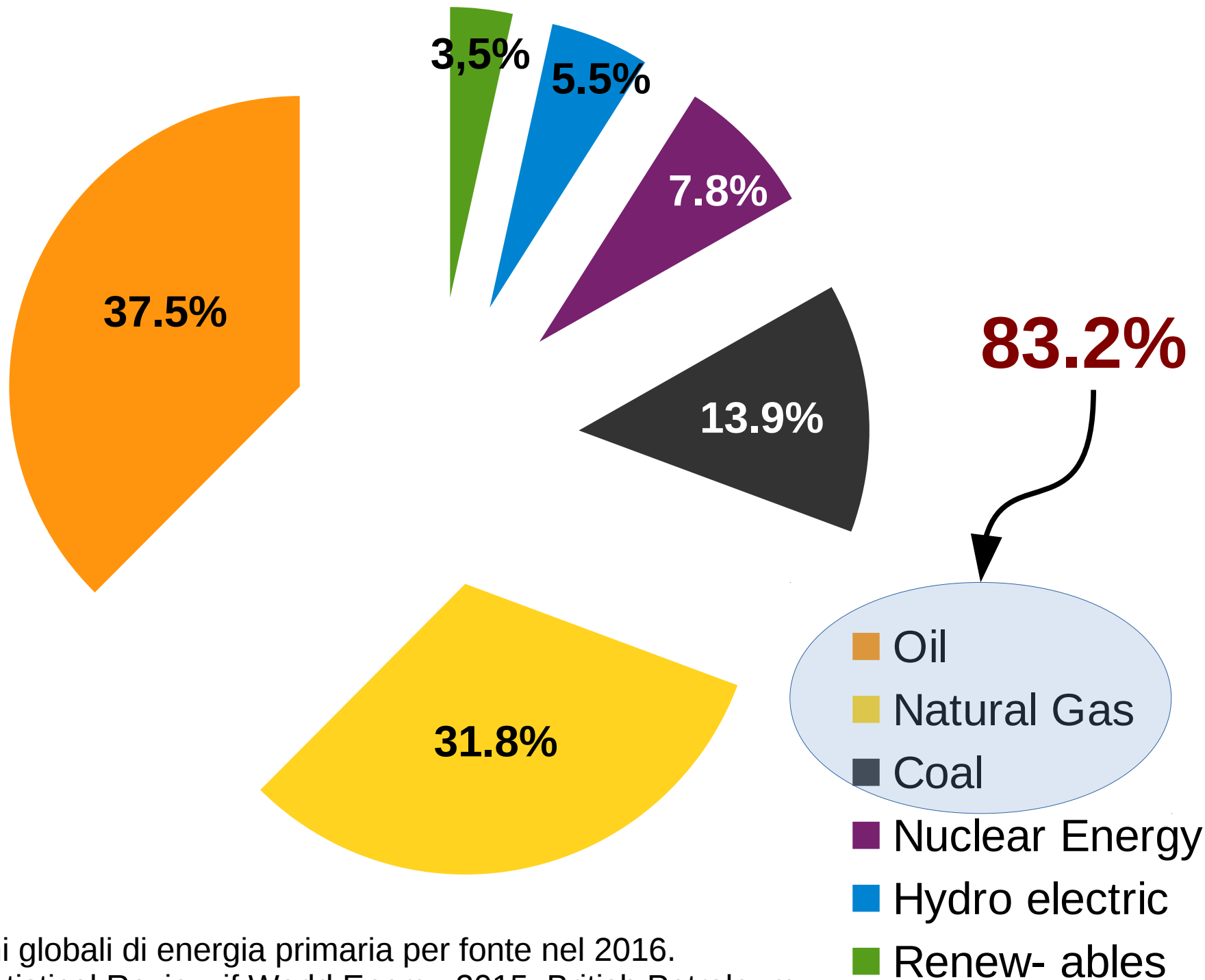
La metrica (cioè la scelta delle unità di misura dell'energia) è spesso discutibile come molti altri aspetti di questo database, ma, come si dice, “a caval donato non si guarda in bocca”.

Almeno in prima battuta. Vedremo nel corso delle lezioni che invece cercheremo di sviluppare una critica dei dati energetici disponibili.

Le altre principali fonti di dati sono l'International Energy Agency (IEA), l'Energy Information Agency del DoE USA (EIA), l'OPEC, e, per il modesto prezzo di circa 1 milione di dollari, un database proprietario di IHS di cui parleremo in seguito. Poi ci sono database di singoli studiosi che possono non avere l'autorevolezza loro conferita dai media (che tendono a prendere per oro colato tutto quello che è presentato sotto forma di dati numerici, come se i numeri, in quanto tali, non fossero discutibili), ma hanno il pregio di essere indipendenti da istituzioni politiche ed economiche. Fra questi consiglio il sito di ASPO-France dove si trovano gli articoli di Jean Laherrere e il “Campbell's Atlas of Oil and Gas Depletion”. Esiste anche una pubblicazione periodica (trimestrale esclusivamente cartaceo, non lo cercate in rete) intitolata “The Oil Age” che è al terzo anno di pubblicazione.



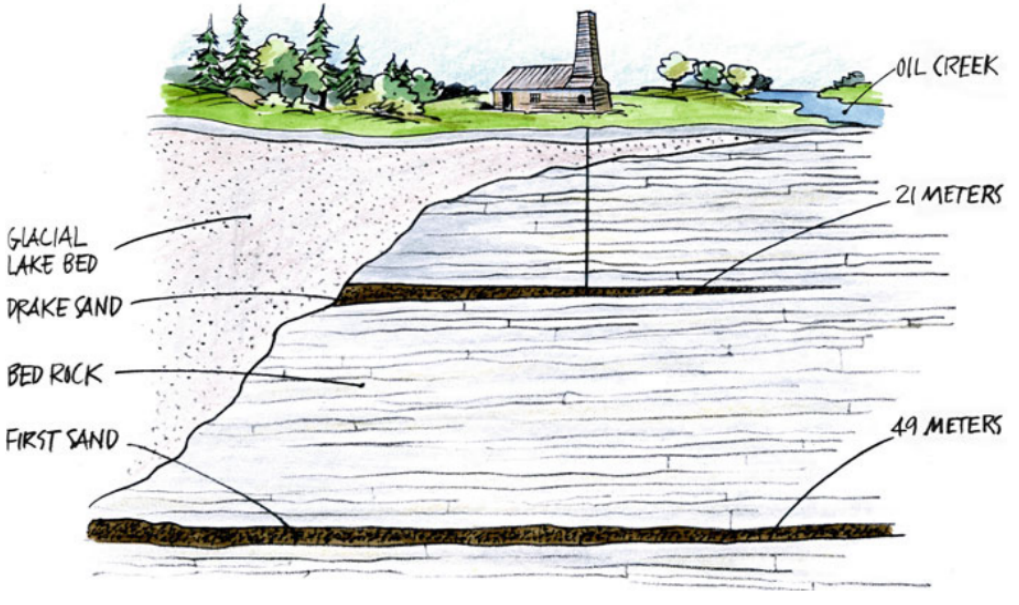
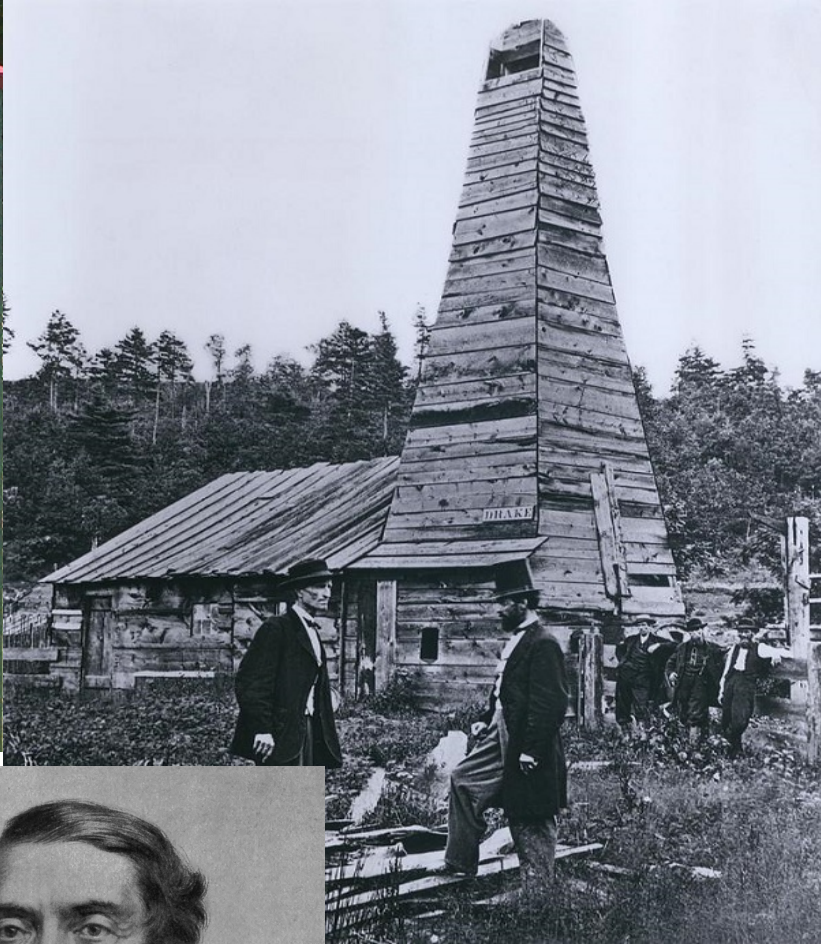
Consumi globali di energia primaria per fonte nel 2015.
Dati: Statistical Review of World Energy 2015. British Petroleum.



Consumi globali di energia primaria per fonte nel 2016.
 Dati: Statistical Review of World Energy 2015. British Petroleum.

Abbiamo già detto che la storia del petrolio si perde nella notte dei tempi. Già in tempi preistorici venivano usati gli affioramenti di petrolio e bitume per vari usi. Il primo pozzo di tipo moderno (cioè una vera e propria perforazione per mezzo di una trivella) fu realizzato a Baku (in Azerbaijan) nel 1848 ad opera di un ingegnere russo. Alla perforazione del primo pozzo petrolifero negli Stati Uniti, quello di Titusville in Pennsylvania nel 1859 ad opera di Edwin Drake, si fa risalire la nascita dell'industria petrolifera. Nel XIX secolo fino agli inizi del XX secolo, il petrolio non serviva come combustibile nei motori a scoppio (che ancora non c'erano), ma per produrre l'olio da illuminazione (kerosene) che sostituì progressivamente l'olio di balena. Alla fine del XX secolo la Sperm whale (il capodoglio) era stata portata sull'orlo dell'estinzione proprio a causa della caccia per la produzione di olio da illuminazione. Una vignetta di Vanity Fair del 1881 celebra la fine della caccia alle balene determinata dal successo delle imprese petrolifere.

Si stima che la produzione di petrolio in tutto il XIX secolo sia corrispondente a quella di tre settimane del tempo attuale.



La quantità totale di petrolio estratta nel XIX secolo corrisponde alla produzione di tre settimane al giorno d'oggi.

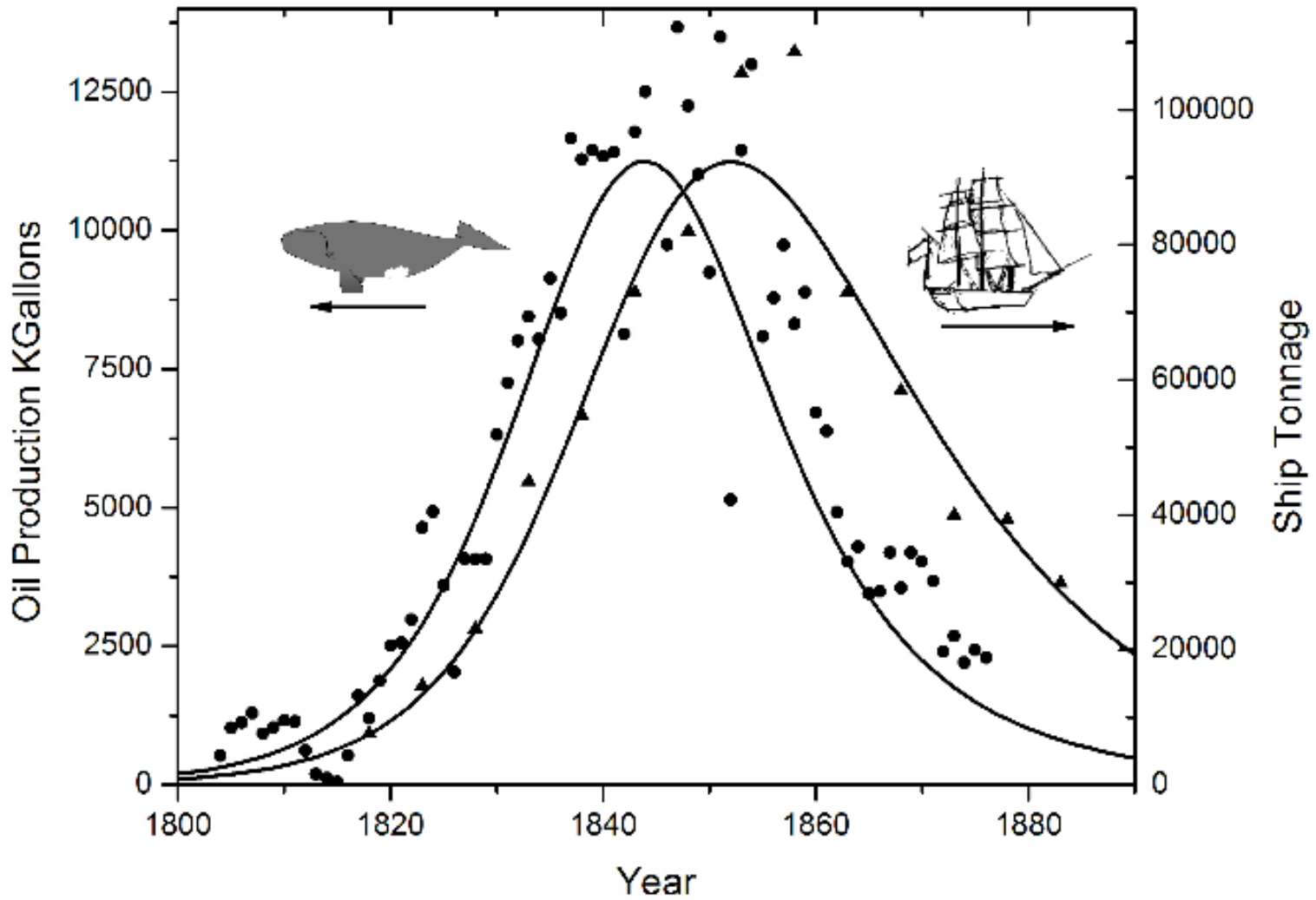
Cronologia del petrolio

- 347 A.D.** Oil wells are drilled in China up to 800 feet deep using bits attached to bamboo poles.
- 1264** Mining of seep oil in medieval Persia witnessed by Marco Polo on his travels through Baku.
- XVI sec** Seep oil collected in the Carpathian Mountains of Poland is used to light street lamps.
- 1594** Oil wells are hand dug at Baku, Persia up to 35 meters (115 feet) deep.
- 1735** Oil sands are mined and the oil extracted at Pechelbronn field in Alsace, France.
- 1802** A 58-ft well is drilled using a spring pole in the Kanawha Valley of West Virginia by the brothers David and Joseph Ruffner to produce brine*. The well takes 18 months to drill.
- 1815** Oil is produced in United States as an undesirable by-product from brine wells* in Pennsylvania.
- 1848** **First modern oil well is drilled in Asia, on the Aspheron Peninsula north-east of Baku, by Russian engineer F.N. Semyenov.**
- 1849** **Distillation of kerosene from oil by Canadian geologist Dr. Abraham Gesner. Kerosene eventually replaces whale oil as the illuminant of choice and creates a new market for crude oil.**
- 1850** Oil from hand-dug pits in California at Los Angeles is distilled to produce lamp oil by General Andreas Pico.
- 1854** First oil wells in Europe are drilled 30- to 50-meters deep at Bóbrka, Poland by Ignacy Lukasiewicz.
- 1854** **Natural Gas from a water well in Stockton, California is used to light the Stockton courthouse.**
- 1857** **Michael Dietz invents a kerosene lamp that forces whale oil lamps off the market.**
- 1858** First oil well in North America is drilled in Ontario, Canada.
- 1859** **First oil well in United States is drilled 69 feet deep at Titusville, Pennsylvania by Colonel Edwin Drake.**

* Brine well è sinonimo di Salt well e si tratta di pozzi dai quali si estrae sale dal sottosuolo la relazione con gli idrocarburi è chiara se si torna alla figura nella slide 8 di questa lezione.

Nella figura che segue è rappresentata la produzione di olio di balena e crescita e declino del tonnellaggio delle baleniere nel XIX secolo. La produzione di olio ha un picco intorno alla metà del secolo immediatamente seguito dal declino del numero di navi baleniere e, dunque, del tonnellaggio totale di queste imbarcazioni da pesca. Il Picco dell'Olio di Balena è stato scoperto dal prof. Ugo Bardi (titolare di questo corso prima del sottoscritto) dell'Università di Firenze ed è diventato il paradigma del picco di una risorsa rinnovabile che viene sfruttata con una velocità superiore al tasso di ricostituzione della risorsa stessa. Si veda a questo proposito il diagramma mostrato nella lezione introduttiva di questo corso che riporta i tempi di rigenerazione delle risorse.

Whaling in 19th century



Vanity Fair- 1881

186

VANITY FAIR.

[APRIL 20, 1861.]

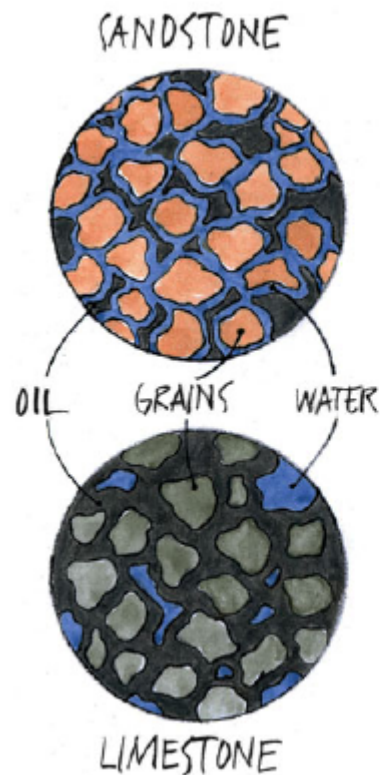


GRAND BALL GIVEN BY THE WHALES IN HONOR OF THE DISCOVERY OF THE OIL WELLS IN PENNSYLVANIA.

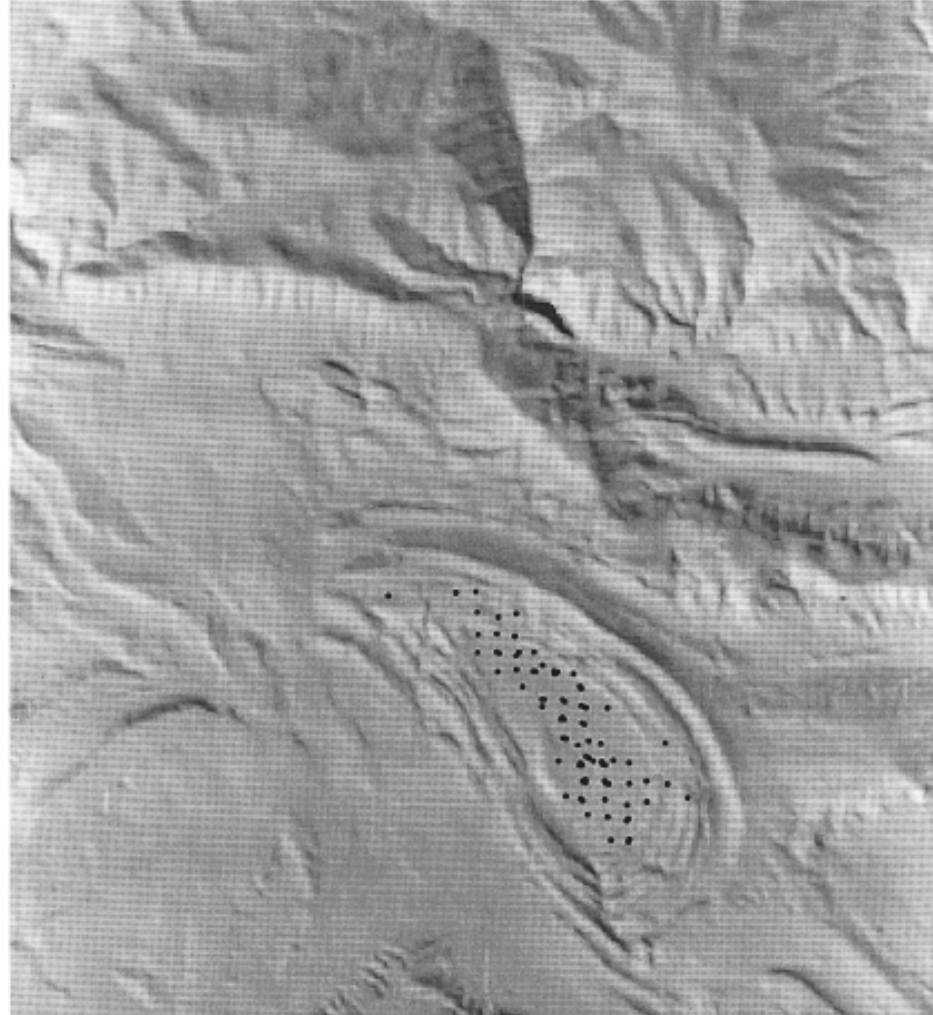
È ovvio che prima di essere estratto il petrolio (ed ogni altra risorsa mineraria) deve essere trovato. L'impresa non è semplice. I geologi petroliferi hanno sviluppato nel tempo una profonda conoscenza della crosta terrestre e sanno dove ha senso cercare gli idrocarburi e dove non è il caso di farlo. Abbiamo visto le condizioni necessarie affinché si possa verificare la formazione di un giacimento petrolifero (si veda anche Mauro Annese "Il Petrolio. Un percorso quasi autobiografico lungo le vie del petrolio descritto in 101 domande e risposte". Queste condizioni costituiscono il primo criterio di selezione di un'area e del suo sottosuolo per la ricerca di idrocarburi. Una volta individuata un'area candidata alla ricerca, si possono fare diversi tipi di esplorazione, la prospezione aerea permette di verificare la presenza di strutture geologiche adatte alla formazione di trappole (anticlinali o faglie si veda slide 8 di questa lezione). L'esplorazione con tecniche sismiche permette di fare una vera e propria mappa tridimensionale del sottosuolo e di individuare le rocce in cui si è accumulato il fluido (gas o petrolio). Infine si deve trivellare. Dai detriti che vengono scavati dalla testa della trivella (lo scalpello) il geologo può individuare i segni di presenza di petrolio e decidere se la trivellazione deve progredire o il sito può essere abbandonato.

Ricerca ed estrazione degli idrocarburi. Il cosiddetto *upstream*

Prima di essere estratto (prodotto) il petrolio e il gas (e in effetti ogni altra risorsa mineraria) deve essere trovato.

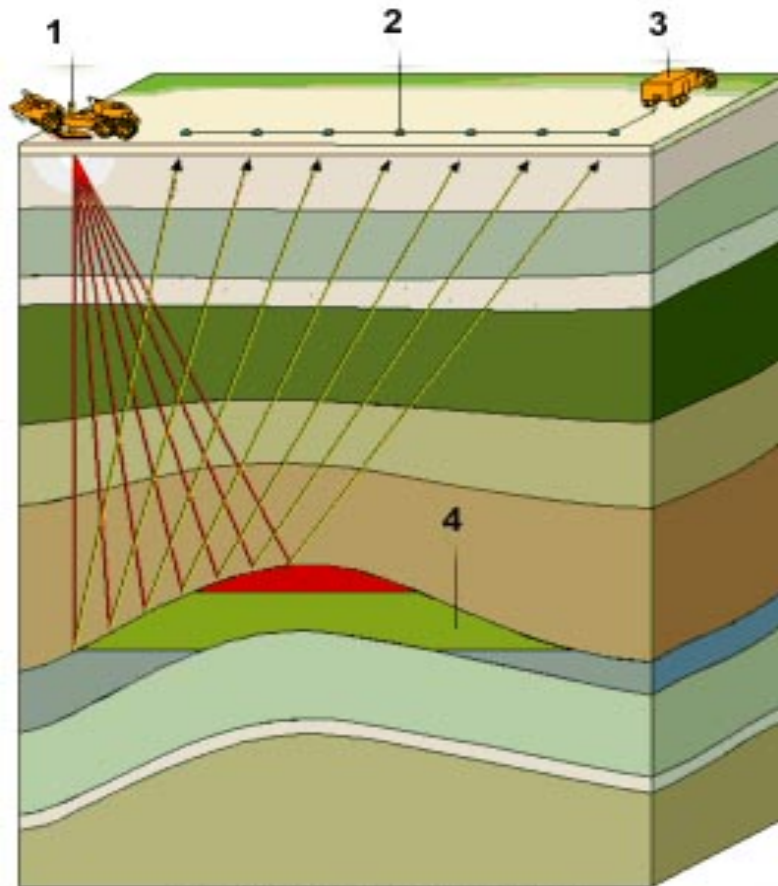


Prospezioni aeree



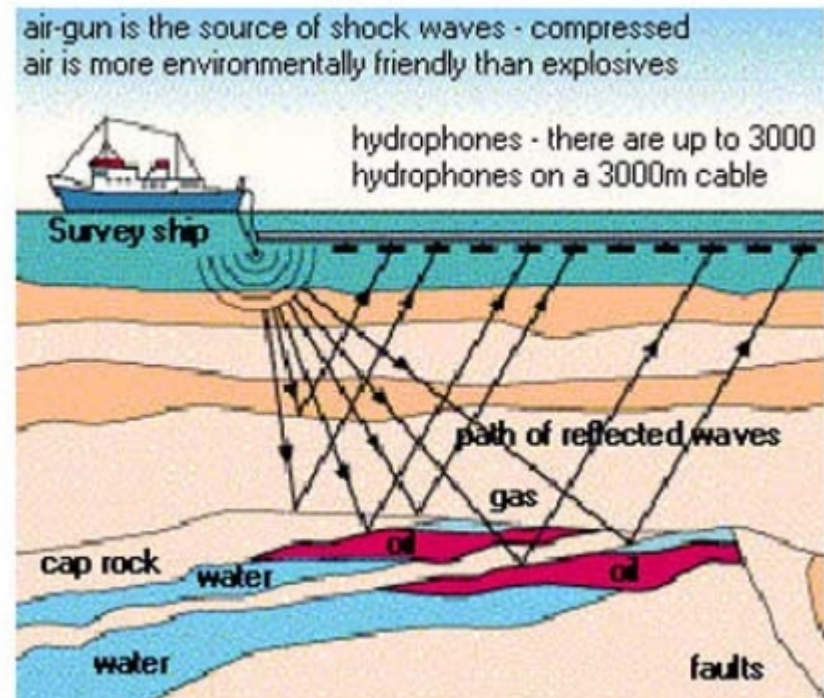
This land feature in central Wyoming was named "Circle Ridge" before the oil field was discovered. The oil wells are shown by solid black dots. The Circle Ridge oil field, discovered in 1917, has produced 30 million barrels of oil and is still producing half a million barrels per year.

Tecniche sismiche



ACQUISIZIONE SISMICA

1. Sorgente sonora
2. Geofoni
3. Unità di registrazione
4. Trappola (giacimento)



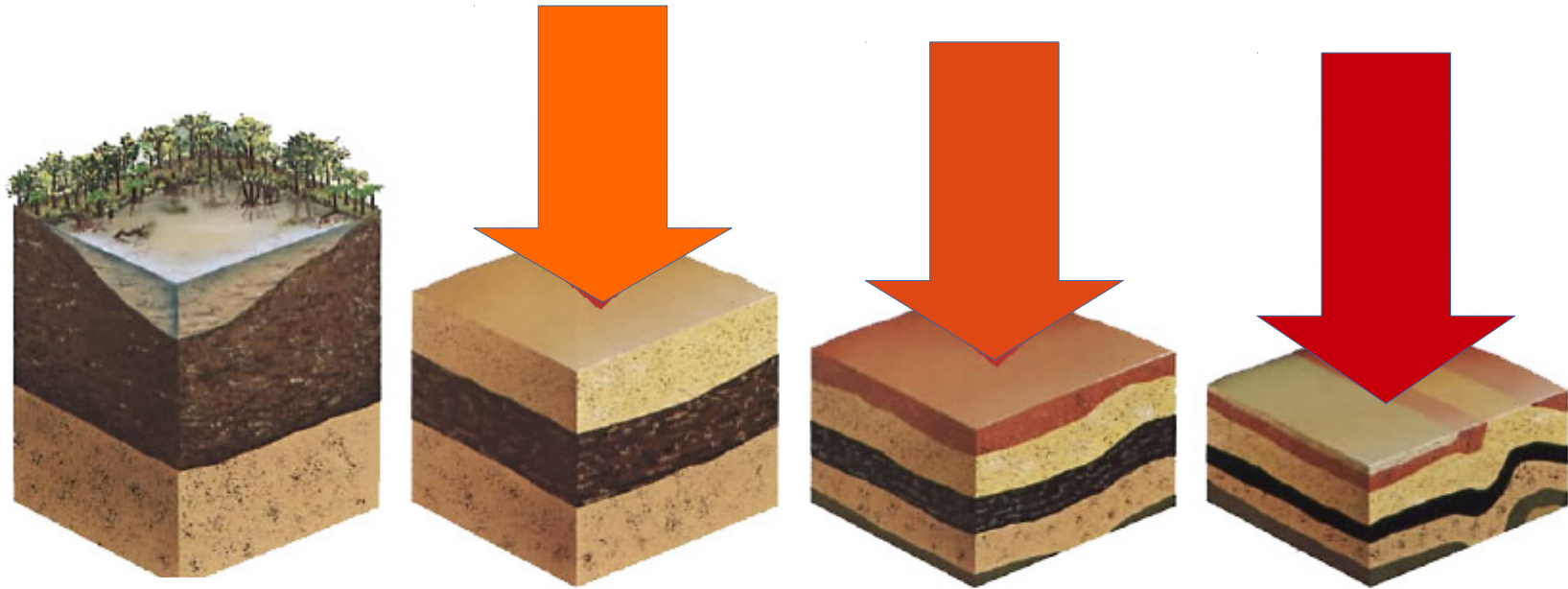
A Vibroseis truck, with massive hydraulic loudspeakers, transmits sound waves into the ground.

Carbone

Il carbone è costituito dai resti di vegetali depositati dopo la morte sul fondo di paludi e lagune poco profonde. In condizioni di mancanza di ossigeno i batteri decompositori non completarono la decomposizione totale dei resti di questi vegetali che furono coperti dai sedimenti e trasportati verso l'interno della crosta terrestre e sottoposti a pressioni e temperature crescenti man mano che i sedimenti si accumulavano negli strati sovrastanti al deposito. Pressione e temperatura fornirono l'energia che portò alla completa mineralizzazione dei tessuti. Pressione e temperatura favoriscono la riduzione delle quantità di idrogeno, ossigeno e azoto e alla concentrazione del carbonio così si passa dalla torba che ha un elevato contenuto di umidità e un basso potere calorico fino all'antracite che è prevalentemente costituita di carbonio (95%) ed ha un alto potere calorico.

L'origine del carbone

Aumento di pressione e temperatura



Aumento del grado



Torba

1600 kJ/kg



Lignite

2300 kJ/kg



Litantrace

29300 kJ/kg

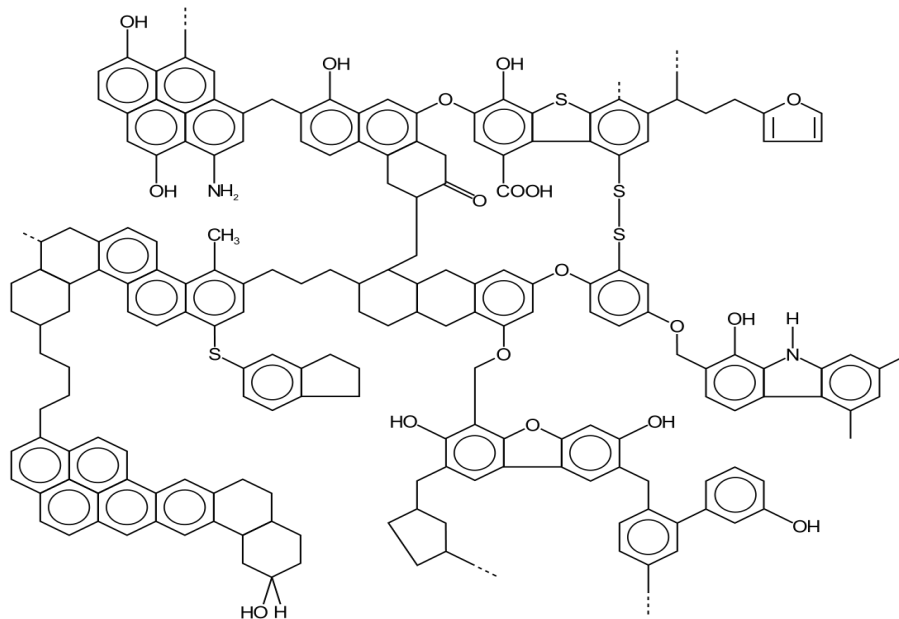


Antracite

360000 kJ/kg

Carbone

Chimicamente il carbone è un materiale molto complesso di cui è impossibile dare una formula chimica precisa. Per avere un'idea della complessità della sua struttura e della sua natura chimica, riportiamo una delle tante formule di struttura riportate sui libri e in internet.



Dal punto di vista geologico il carbone è definito una roccia sedimentaria organogena (cioè generata da organismi viventi) che è costituita da diverse componenti distinguibili (definite macerali) che sono originate dalle diverse parti delle piante che le hanno generate: foglie, fusti, polline, resina ecc.

Grandi bacini carboniferi nel mondo.

