

IL SISTEMA PETROLIO

Indice

Introduzione >

Che cos'è il sistema petrolifero >

Il sistema petrolifero

La roccia madre

La sostanza organica si trasforma

Caratteristiche di un giacimento >

La migrazione di idrocarburi

Serbatoi capienti

Trappole e rocce di copertura

IL SISTEMA PETROLIO

Introduzione

Ai nostri giorni il petrolio è la fonte energetica più importante e per alcune applicazioni è insostituibile, ma fino a quando riuscirà a far fronte alla crescente domanda di energia? Arriverà il giorno in cui la produzione di petrolio raggiungerà un picco per poi inesorabilmente diminuire con un conseguente aumento dei prezzi.

La distribuzione dei principali bacini petroliferi nel mondo non è uniforme, ma non è nemmeno casuale. Dipende, infatti, dalle condizioni geologiche necessarie alla formazione di grandi giacimenti e dalle difficoltà di esplorazione e di ricerca in aree isolate e poco conosciute, come le zone caratterizzate da condizioni ambientali particolarmente severe (le vaste aree della Siberia, le aree di foresta pluviale del Sud America e aree offshore profonde). La storia geologica del nostro Paese è molto complessa e ha dato alla penisola un assetto strutturale e sedimentario complicato e assai poco "tranquillo". Questo non ha favorito la formazione di grandi ed estesi bacini petroliferi ma ha creato localmente situazioni favorevoli alla formazione di numerose province petrolifere di una certa importanza, anche se di non grande estensione.

Che cos'è il sistema petrolifero

Se si osserva la distribuzione di idrocarburi nel mondo, non è difficile rendersi conto che questa non è uniforme su tutto il pianeta, ma vi sono zone molto più ricche di altre e zone che ne sono del tutto prive: la disparità tra le quantità di idrocarburi contenuti nelle riserve delle diverse province petrolifere mondiali è evidentissima. Ma che cosa condiziona e determina la distribuzione di gas naturale e petrolio nel sottosuolo? I fattori che determinano la quantità di idrocarburi presente in una regione sono molteplici e tutti di natura geologica: per capire perché una regione è più ricca di altre o per valutare le potenzialità di una provincia petrolifera è necessario conoscerne molto bene la geologia, sia in termini dei diversi tipi di rocce che vi si incontrano che in termini di storia geologica. Questa conoscenza, non sempre facile da acquisire, è importantissima per effettuare una valutazione preliminare su aree ancora inesplorate dal punto di vista della ricerca degli idrocarburi e per determinarne le potenzialità produttive. Si tratta di un passo fondamentale nella fase di ricerca.

Il sistema petrolifero

L'insieme di tutte le caratteristiche che portano alla formazione di un giacimento costituiscono il cosiddetto "sistema petrolifero". Il sistema petrolifero è formato dai seguenti elementi essenziali che verranno approfonditi nei paragrafi successivi:

- la presenza di una roccia madre;
- la presenza di una roccia serbatoio;
- la presenza di una roccia di copertura;
- la formazione di trappole di struttura idonea.

I processi necessari invece sono costituiti da:

- generazione degli idrocarburi (condizioni di raggiungimento della "finestra ad olio");
- espulsione e migrazione degli idrocarburi dalla roccia madre verso la roccia serbatoio;
- accumulo degli idrocarburi in una roccia serbatoio all'interno di trappola.

Le aree a maggior produzione di idrocarburi vengono ripartite, in base alle caratteristiche geologiche e strutturali, in "bacini petroliferi", a loro volta suddivisi in provincie più piccole, caratterizzate dall'uniformità della situazione geologica e dalla similitudine delle caratteristiche delle rocce serbatoio e della struttura delle trappole. Il compito di chi si occupa della ricerca di idrocarburi è quello di individuare le aree che possiedono le caratteristiche geologiche sopra elencate, le più favorevoli alla formazione di importanti riserve.

La roccia madre

Gli idrocarburi si formano per trasformazione della sostanza organica dispersa nelle rocce. La sostanza organica fornisce i due elementi essenziali alla composizione degli idrocarburi: il carbonio e l'idrogeno. Perché vi sia formazione di quantità significative di idrocarburi, la roccia originaria deve contenere più dello 0.5% in peso di carbonio organico. Il primo requisito indispensabile perché si formi un bacino petrolifero importante è quindi la presenza di rocce ricche di sostanza organica. La sostanza organica deriva da organismi animali e vegetali che, alla loro morte, si accumulano in sedimenti e detriti che si depositano sul fondo di bacini di sedimentazione. L'accumulo può avvenire sia in ambiente marino che continentale e in entrambi i casi la sostanza organica viene in genere rapidamente decomposta e soltanto una piccola parte (circa una su mille) sfugge all'attacco di batteri e ai processi di ossidazione. La sostanza organica si può perciò accumulare in grande quantità soltanto nelle rocce sedimentarie che si formano in bacini stabili per lungo tempo. L'accumulo di sostanza organica dipende anche dal tasso di produzione della stessa, che è condizionato da fattori ambientali quali la disponibilità di cibo e sostanze nutritive, l'intensità della luce e la temperatura. I luoghi più favorevoli ad un grande accumulo di sostanza organica (resti di organismi marini e terrestri) sono gli ambienti di mari caldi poco profondi e in prossimità delle coste. La sostanza organica è ridotta nell'ambiente marino profondo per lo scarso apporto, mentre in quello terrestre viene rapidamente decomposta. I primi luoghi dove andare alla ricerca di idrocarburi sono quindi le aree in cui siano presenti sedimenti marini di mare poco profondo e ricchi di sostanza organica: le "rocce madri" da cui hanno origine gli idrocarburi. Inoltre, è necessario che la sostanza organica possa conservarsi e sia quindi risparmiata il più possibile dai processi di decomposizione. Questo si realizza in ambienti a sedimentazione veloce, dove viene rapidamente seppellita, o in ambienti poveri di ossigeno. Le condizioni di anossia si realizzano in bacini chiusi, a limitata o nulla circolazione delle acque, come per esempio i laghi e le lagune con scarsa comunicazione con il mare aperto, i mari poco profondi all'interno di terre emerse o i bacini oceanici con elevate profondità. I bacini anossici sono così strettamente legati alla presenza di importanti depositi di idrocarburi tanto da essere considerati tra i più importanti generatori di rocce madri e quindi oggetto di studi approfonditi da parte di chi si occupa della ricerca di gas e petrolio. Rocce madri formatesi in bacini anossici chiusi sono state riconosciute in tutte le principali provincie petrolifere: Venezuela, Colombia, Golfo del

Messico, Arabia Saudita, Alaska, mentre rocce madri formatesi a causa della rapida sedimentazione sono state ritrovate nelle provincie petrolifere di Argentina, Africa Occidentale, Mare del Nord, USA, Italia (bacino Padano).

La sostanza organica si trasforma

I sedimenti che via via si depongono seppelliscono quelli sottostanti, che vengono coperti da spessori sempre crescenti di materiale che si va accumulando nel tempo. Spinti sempre più in profondità nella crosta terrestre, i sedimenti piano piano perdono l'acqua che contengono in origine, divengono sempre più densi e compatti e vengono sottoposti a temperature e pressioni crescenti. Si definisce "finestra ad olio" l'insieme delle condizioni particolari di pressione e temperatura necessarie per la trasformazione della sostanza organica in idrocarburi. Perché si origini un'importante provincia petrolifera è anche necessario che la roccia madre raggiunga le condizioni della "finestra ad olio". La trasformazione può avvenire a temperature basse, ma con tempi lunghi (come accade nelle rocce più antiche), oppure in tempi brevi, ma con temperature più elevate (come accade nelle rocce più giovani): l'età della roccia madre non è un fattore determinante nella produzione degli idrocarburi, mentre lo è la temperatura raggiunta dalla roccia. Le modalità e i tempi con cui viene raggiunta la finestra ad olio possono essere decisivi per determinare, insieme alle caratteristiche iniziali della sostanza organica, una maggior produzione di gas piuttosto che di olio. I ricercatori eseguono una serie di analisi sulle possibili rocce madri per stabilire se queste abbiano raggiunto o meno le condizioni necessarie alla trasformazione controllando alcuni "indici" particolari: il potere riflettente delle vitrinite (una sostanza organica che diviene sempre più riflettente quanto più è alta la temperatura a cui è stata sottoposta), e il colore delle spore e dei pollini (più scuri con l'aumentare della temperatura).

Caratteristiche di un giacimento

Nella loro migrazione, gli idrocarburi, leggeri e poco densi, tendono a salire verso l'alto. Se non trovano ostacoli sul loro percorso ideale, si disperdono nelle rocce soprastanti fino a raggiungere la superficie e danno luogo a manifestazioni spontanee: i cosiddetti oil seepage (trasudamenti di olio) che si disperdono in superficie. In sintesi, perché si possa formare un giacimento importante è necessario che le formazioni rocciose che circondano le rocce madri possano intrappolare e accumulare gli idrocarburi al loro interno e richiedono tre condizioni indispensabili:

- deve esistere una roccia che possa contenere gli idrocarburi, la cosiddetta "**roccia serbatoio**", o *reservoir*;
- la **roccia serbatoio** deve essere delimitata da una roccia impermeabile, detta "**roccia di copertura**", in grado di arrestare la migrazione dei fluidi e di confinarli all'interno del serbatoio;

- la disposizione e la configurazione della roccia serbatoio e della roccia di copertura devono essere tali da costituire un contenitore abbastanza capace e di forma adatta a contenere la massima quantità di idrocarburi, a costituire la cosiddetta "**trappola**".

La migrazione di idrocarburi

Gli idrocarburi che si formano all'interno della roccia madre sono in genere dispersi nei sedimenti e devono avere la possibilità di migrare e concentrarsi per formare accumuli economicamente significativi. È stato calcolato che soltanto il 5% degli idrocarburi che si formano può accumularsi in giacimenti di una certa importanza. La migrazione avviene in due fasi. La migrazione primaria permette la fuoriuscita degli idrocarburi dalla roccia madre, con un meccanismo di espulsione analogo a quello che provoca l'allontanamento dell'acqua originariamente presente nei sedimenti per la pressione crescente a cui questi sono sottoposti. L'olio e il gas sono più leggeri e meno densi dell'acqua, per cui durante la migrazione secondaria, tendono a risalire verso l'alto utilizzando i pori e le fratture delle rocce. Perché la migrazione possa avere luogo, è necessario che le rocce circostanti siano permeabili, cioè possiedano pori e fratture di dimensioni tali da permettere il passaggio delle gocce di olio e delle bolle di gas. Tanto maggiore sarà la permeabilità delle rocce circostanti, tanto più grande sarà la possibilità che si raccolgano grandi quantità di idrocarburi.

La permeabilità dipende dalla storia geologica della regione ed è condizionata da due importanti fattori: la permeabilità iniziale dipende dal tipo di roccia e dalle condizioni di formazione ed è molto elevata nelle ghiaie e nelle sabbie, si riduce nelle arenarie, è molto bassa nei calcari e nelle rocce ignee e metamorfiche); la permeabilità secondaria è creata da fratture e faglie che si formano nella roccia a seguito di deformazioni tettoniche o da vuoti che si formano per processi di carsificazione. Le province petrolifere più produttive vanno quindi cercate dove la storia geologica ha reso più probabile la presenza di rocce permeabili intorno a rocce con caratteristiche di rocce madri. Rocce poco permeabili, come per esempio le argille che agiscono come una barriera impermeabile che arresta la migrazione degli idrocarburi e forma la "roccia di copertura".

Serbatoi capienti

Le rocce serbatoio devono possedere elevata porosità e permeabilità: più questi valori sono elevati, maggiore sarà la quantità di idrocarburi che la roccia serbatoio può contenere e più facile risulterà l'estrazione di olio e gas. Naturalmente, più è grande il volume della roccia serbatoio, maggiore sarà il volume del giacimento. Le rocce serbatoio più efficienti sono le rocce di tipo "silicoclastico" costituite da granuli e frammenti di rocce preesistenti (sabbie, arenarie, conglomerati). Queste rocce sono caratterizzate da un'elevata porosità e costituiscono serbatoi di ottima qualità. Si calcola che il 60% dei giacimenti di idrocarburi rinvenuti sino ad ora siano contenuti in rocce di questo tipo.

Buone rocce serbatoio sono anche le rocce carbonatiche (calcari e dolomie), quando sono intensamente fratturate o di origine organica (come i calcari di scogliera), quando sono attivi i processi carsici che creano grandi sistemi di vuoti sotterranei. Poco meno del 40% dei giacimenti mondiali è contenuto in rocce di questo tipo. Tutti gli altri tipi di rocce costituiscono buoni serbatoi

soltanto in casi di fratturazione particolarmente intensa: contengono in genere giacimenti di volume molto piccolo e sono quindi praticamente irrilevanti. Giacimenti importanti in graniti fratturati si trovano solo tra Kansas e Texas (bacino di Anadark), nel giacimento egiziano di Ashrafi, nel Golfo di Suez, e in quello off-shore di Bach-Ho, in Vietnam.

Trappole e rocce di copertura

Perché gli idrocarburi possano rimanere confinati all'interno di una roccia serbatoio, è necessario che questa sia circondata da rocce che impediscano agli idrocarburi di allontanarsi. Le rocce di copertura devono quindi possedere caratteristiche diametralmente opposte a quelle che fanno di una roccia un buon serbatoio: devono infatti essere il più possibile impermeabili. In genere sono costituite da rocce sedimentarie a grana fine (come argille, marne, calcari argillosi) o da rocce evaporitiche (come gessi e salgemma) e devono essere poco fratturate. Il 95% delle rocce di copertura dei principali giacimenti mondiali è costituito da argille o evaporiti.

Trappole efficaci. Le caratteristiche delle rocce serbatoio e delle rocce di copertura appena descritte sono però requisiti necessari, ma non sufficienti per la formazione di giacimenti importanti. Un fattore decisivo è la **forma della "trappola"** che imprigiona gli idrocarburi, cosa che determina la forma e il volume del **reservoir** e l'entità delle riserve che questo può contenere. Le trappole possono essere di tipo strutturale o di tipo stratigrafico. Le **trappole strutturali** sono dovute a deformazioni tettoniche che hanno fratturato e piegato le rocce. La conformazione più favorevole è quella di rocce deformate in pieghe anticlinali con gli strati incurvati verso l'alto e che sono perciò le strutture più idonee a contenere fluidi che tendono a spostarsi verso l'alto perché meno densi.

Anche le rocce evaporitiche possono originare ottime trappole: i **depositi salini**, essendo più leggeri delle rocce circostanti tendono a migrare verso l'alto e incurvano gli strati soprastanti formando strutture dette "diapiri", molto favorevoli all'accumulo di idrocarburi. Moltissimi bacini petroliferi in tutto il mondo sono associati alla presenza di **diapiri salini** (per esempio, in Europa Centrale). Anche strutture tettoniche dove sistemi di faglie creano alternanze di bacini depressi e aree più rilevate (Horst e Graben) possono costituire efficaci sistemi di trappole come nel Bacino del Mare del Nord e nella Fossa Renana tra Francia e Germania.

Le trappole strutturali sono le strutture più facili da individuare con indagini geofisiche, motivo per cui la grande maggioranza dei giacimenti mondiali è contenuta in strutture di questo tipo.

Le **trappole stratigrafiche** sono invece dovute a cause sedimentarie, dove variano repentinamente le caratteristiche di permeabilità e porosità della roccia, per esempio in ambienti fluviali e ambienti marini poco profondi. Le trappole stratigrafiche, pur essendo molto numerose, contengono soltanto il 15% dei giacimenti mondiali, non tanto perché siano meno efficaci delle trappole strutturali, quanto perché la loro individuazione con metodi di indagine geofisica è molto più difficile. All'interno di una trappola, a causa delle differenze di densità dei diversi componenti, troviamo: alla sommità il gas più leggero, al di sotto di questo gli idrocarburi e infine l'acqua. La superficie di separazione olio-acqua segna il limite inferiore del giacimento e la sua individuazione è fondamentale per calcolare il volume degli idrocarburi contenuti nel giacimento.

Testo aggiornato ad agosto 2022