

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale  
Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

***Relazione per la prova finale***  
***«Lo shale gas e il possibile impatto sulla transizione  
energetica a breve termine»***

Tutor universitario: Prof. Anna Stoppato

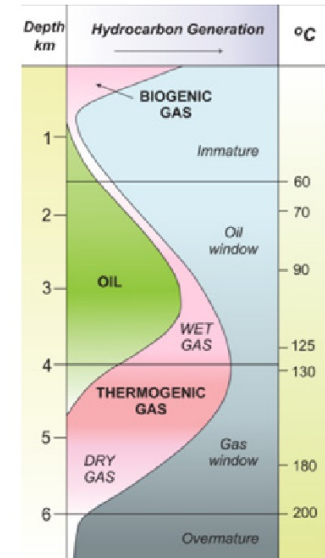
Laureando: Timar Sergiu-Adrian

Padova, 11/01/2022

- Shale gas = gas naturale estratto da giacimenti non convenzionali in argille parzialmente diagenizzate
- L'Accordo di Parigi (CoP 21) ha delineato 3 obiettivi principali:
  - 1) limitare aumento di temperatura media globale a 2 °C rispetto a livelli pre-industriali
  - 2) incrementare “resilienza climatica” e lo sviluppo di tecnologie a bassa emissione di GHG
  - 3) armonizzare flussi finanziari dei grandi capitali per con gli obiettivi precedenti
- Per raggiungere questi target è necessario abbandonare l'uso dei combustibili fossili e avviare la transizione energetica verso le fonti rinnovabili
- La transizione energetica è un processo graduale e nel breve termine lo “switch” da carbone a gas metano potrebbe assicurare abbattimento GHG e fattibilità tecnico-economica

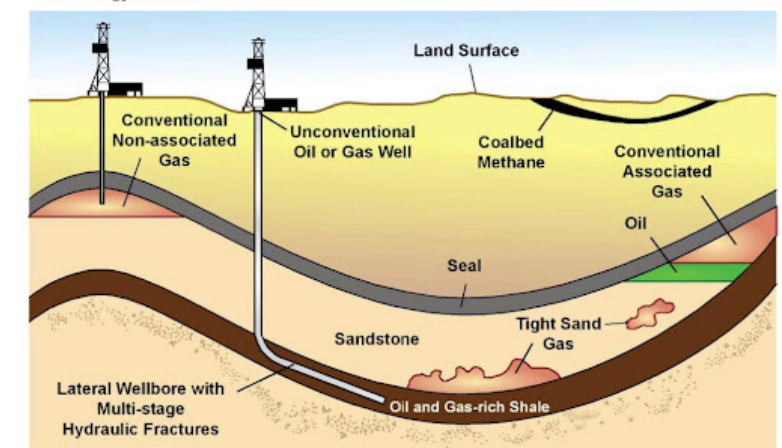
- Fornire una panoramica dello shale gas che comprenda: le origini geologiche, le modalità di estrazione, le differenze tra giacimenti convenzionali e “non convenzionali”
- Analizzare il ruolo del gas naturale nella transizione energetica e nella riduzione delle emissioni di CO2
- Analizzare gli impatti dell'estrazione di shale gas per quanto riguarda ambiente, qualità dell'acqua e sismicità indotta
- Presentazione delle modalità di stoccaggio CO2 nei giacimenti di shale gas
- Generazione di energia elettrica tramite impianti di tipo combinato alimentati da gas metano

- Lo shale gas è di origine termogenica o biogenica
- La parte termogenica deriva dalla trasformazione del kerogene per maturazione termica mentre la parte biogenica riguarda la decomposizione della materia organica, intrappolata nelle argille, da parte di batteri anaerobi con conseguente produzione di metano
- 2 modalità di accumulo: gas adsorbito e gas libero



- Rispetto ai bacini convenzionali, l'argilla è al tempo stesso roccia madre, trappola e serbatoio per il gas naturale
- La permeabilità della matrice è estremamente bassa:  $< 10^{(-9)}$  m/s
- Segue che per la produzione commerciale è necessario lo sviluppo di una permeabilità secondaria legata alla formazione di un sistema di fratture di origine naturale e/o artificiale come la fratturazione idraulica

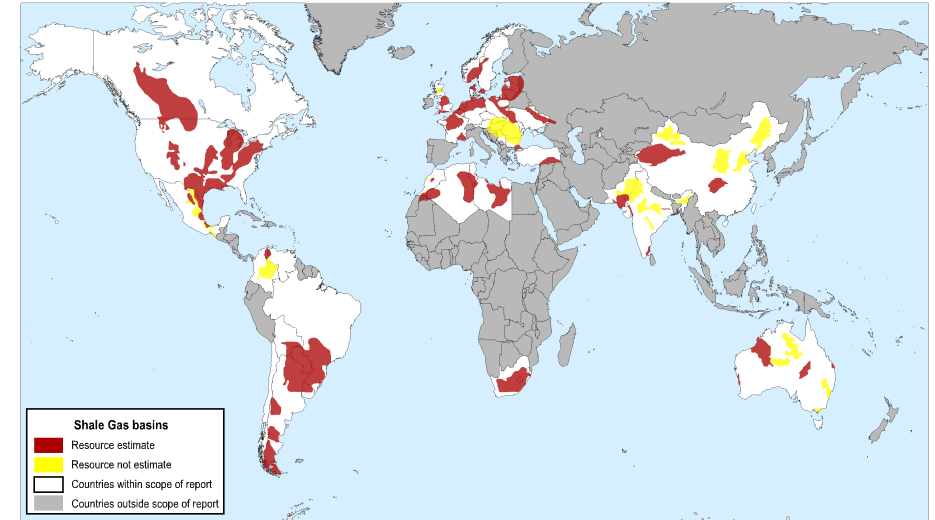
The Geology of Conventional and Unconventional Oil and Gas



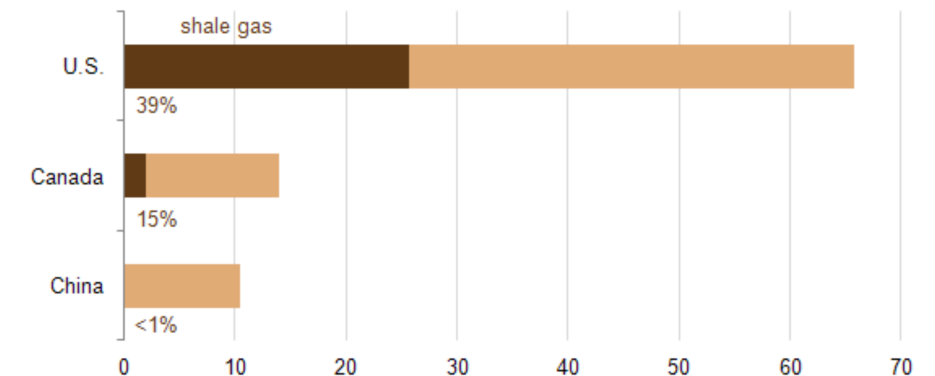
Source: EIA



- I principali siti di produzione sono dislocati in USA, Cina e Canada
- I siti piu' produttivi sono: Mississippi Barnett Shale in Texas e Antrim Shale Michigan Basin
- Il successo della Barnett Shale ha catalizzato una crescita parabolica del numero di pozzi di estrazione installati e della produzione annuale di gas
- Stima risorse shale gas USA:  $14 \cdot 10^{12}$ – $22,1 \cdot 10^{12}$  m<sup>3</sup>
- Stima risorse Canada:  $2,4 \cdot 10^{12}$  m<sup>3</sup>
- Stima risorse Cina: oltre  $25 \cdot 10^{12}$  m<sup>3</sup>
- I 3 Paesi citati sono gli unici che producono shale gas in quantità commercialmente utili
- Si stima che entro il 2035 il 46% dell'approvvigionamento di gas degli USA sarà originario da formazioni argillose

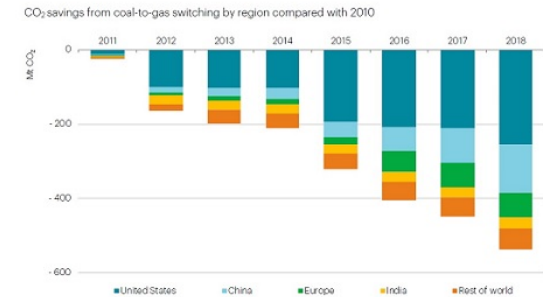


Shale gas as share of total dry natural gas production in 2012  
billion cubic feet per day

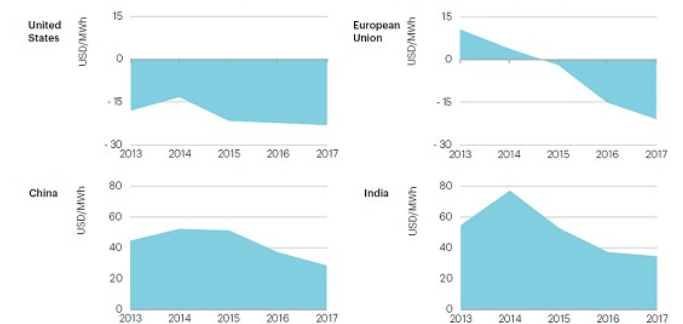


- Lo switch da carbone a gas naturale aiuta nell'abbattimento delle emissioni di CO<sub>2</sub>
- Motivi che rendono il metano un valido sostituto: disponibilità di offerta, esistenza di infrastruttura per trasporto e stoccaggio, alimentazione cicli combinati, buon PCI (35 MJ/Nm<sup>3</sup>), basse emissioni (0,4 kg CO<sub>2</sub>/kWh contro lo 0,9 kg CO<sub>2</sub>/kWh del carbone)
- Negli USA lo switch su larga scala ha causato un decremento delle emissioni di circa il 20% rispetto al 2010
- In Cina lo switch è meno evidente perchè la flotta di centrali a carbone è di recente costruzione e vanta buoni rendimenti
- In UE lo switch non è un fattore rilevante ma potrebbe prendere vigore se il prezzo del gas si manterrà basso e quello della CO<sub>2</sub> alto
- In India il gas ha un ruolo di nicchia nel paniere energetico
- Il driver principale resta il costo di produzione di energia elettrica: il costo LCOE mostra che USA e UE sono le regioni piu' promettenti

Coal-to-gas switching has helped prevent faster growth in emissions since 2010...

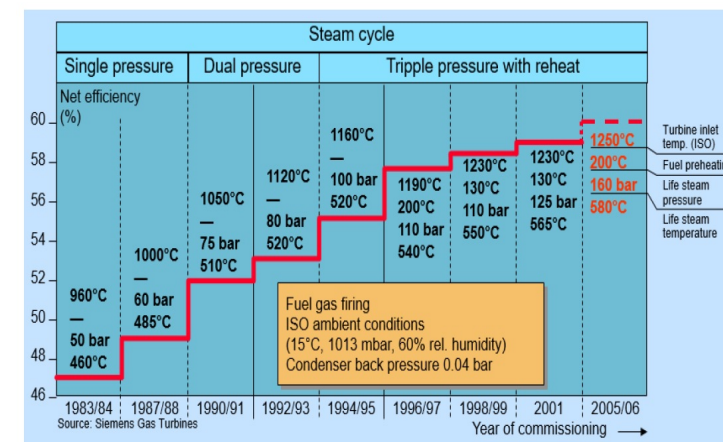
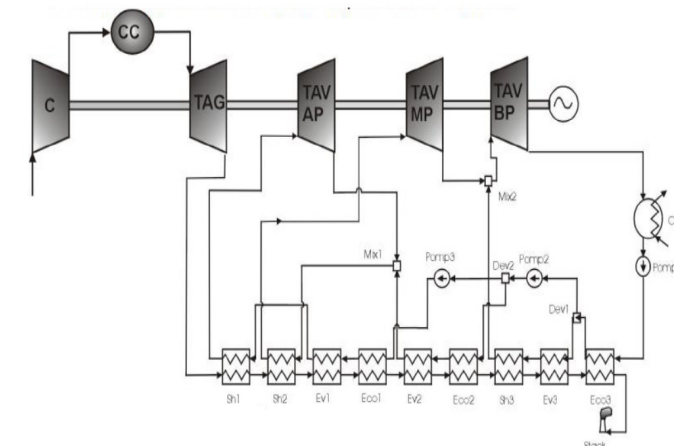


Difference in levelised cost of electricity from natural gas (CCGT) versus coal plants (supercritical) in selected regions



- I bacini esausti di shale gas possono essere usati come siti di stoccaggio per la CO<sub>2</sub>
- Attualmente le opzioni di cattura dell'anidride carbonica includono: stoccaggio in depositi esausti di petrolio e di gas naturale, formazioni saline, vene carbonifere non minabili ecc
- In ottica di stoccaggio si sta esplorando l'Enhanced Gas Recovery (EGR) dove la CO<sub>2</sub> viene usata come catalizzatore per migliorare la produttività dei depositi di shale gas
- Studi indicano che la CO<sub>2</sub> potrebbe dislocare il metano con un rapporto di 14:1 su base massica
- 1 kg di CH<sub>4</sub> produce circa 55 MJ di energia; per comprimere 1 kg di CO<sub>2</sub> si spende 1 MJ; il bilancio energetico è positivo: si otterrebbero 55 MJ di energia con un consumo di 14 MJ
- Il doppio obiettivo di stoccaggio e EGR si può conseguire in maniera profittevole soltanto quando la disponibilità della CO<sub>2</sub> è sufficiente nelle vicinanze del bacino di estrazione

- Si ha massima convenienza in termini di emissioni e costi quando il gas alimenta un ciclo combinato in un impianto di tipo CCGT
- Consiste essenzialmente in un accoppiamento tra un ciclo Brayton e un ciclo sottoposto Rankine
- I cicli combinati sono caratterizzati da: alti rendimenti, alti output di potenza, flessibilità, tempi di avviamento a carico parziale ridotti, possono ricoprire ruoli di peak load e base load ed esibiscono un'elevata efficienza su un ampio range di carichi
- L'evoluzione storica ha portato allo sviluppo della configurazione a 3 livelli di pressione con risurriscaldamento
  - 1) P max si attesta sui 180-200 bar
  - 2) Rendimenti medi tra il 56-58%
  - 3) Temperatura dei gas al camino intorno ai 100 °C
- Turbine a gas avanzate con TIT > 1500 °C permettono di superare rendimenti del 60%



- Nel prossimo futuro ci si aspetta una rapida espansione dell'industria dello shale gas
- La produttività relativamente bassa delle formazioni di shale gas (2004:  $5,6 \cdot 10^4$  m<sup>3</sup>/giorno) imporrà il continuo sviluppo di nuove tecnologie a costi vantaggiosi
- La sostanza organica nell'argilla ha la tendenza ad adsorbire preferenzialmente CO<sub>2</sub> rispetto a CH<sub>4</sub> permettendo un'eventuale EGR e lo stoccaggio dell'anidride carbonica; progetti combinati di incremento del recupero e dello stoccaggio del gas sono in fase di esecuzione e studio in diversi Paesi
- Un aspetto fondamentale è l'aspetto economico: tra le energie non rinnovabili, il gas naturale sfruttato in cicli combinati presenta il minor costo di produzione di energia elettrica

