

## **CHIMICA AMBIENTALE**

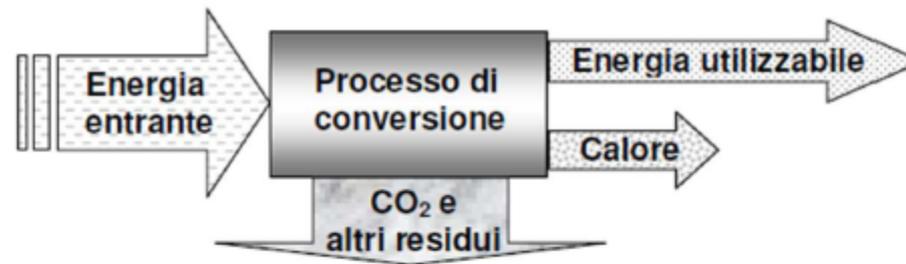
CdL triennale in  
Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e la Natura  
E in  
Chimica

Docente  
Pierluigi Barbieri

**SSD Chimica dell'ambiente e dei beni culturali, CHIM/12**

# USO DELL'ENERGIA, COMBUSTIBILI FOSSILI, EMISSIONI DI CO<sub>2</sub> E CAMBIAMENTO CLIMATICO GLOBALE

L'uso dell'energia comprende la trasformazione dell'energia da una forma all'altra, fino alla sua degradazione in calore, prodotto di scarto senza problema ambientale globale. Tuttavia produzione o consumo di energia presentano alcuni effetti collaterali seri per l'ambiente (es. clima).



Una **fonte di energia** viene definita **primaria** quando è presente in natura e quindi non deriva dalla trasformazione da parte dell'uomo di nessuna altra forma di energia. Rientrano in questa categoria i combustibili direttamente utilizzabili (petrolio grezzo, gas naturale, carbone), l'energia nucleare, l'energia del sole, del vento, dell'acqua e delle biomasse ( **fonte di e. secondaria:** e.elettrica, benzina, GPL, idrogeno)

## Criteria di valutazione delle fonti energetiche

Oltre al rendimento energetico, esistono naturalmente una serie di altri criteri molto rilevanti che concorrono a caratterizzare le fonti energetiche: es.

1. la continuità della fornitura,
2. la facilità di trasporto,
3. la possibilità di stoccaggio,
4. la densità energetica e la densità di potenza,
5. l'impatto ambientale e,
6. il prezzo di mercato delle risorse energetiche.

**Rendimento termodinamico** è il rapporto tra il lavoro compiuto e l'energia fornita al sistema

**Densità energetica** è la quantità di energia immagazinata in un'unità (massa, volume, etc) di combustibile

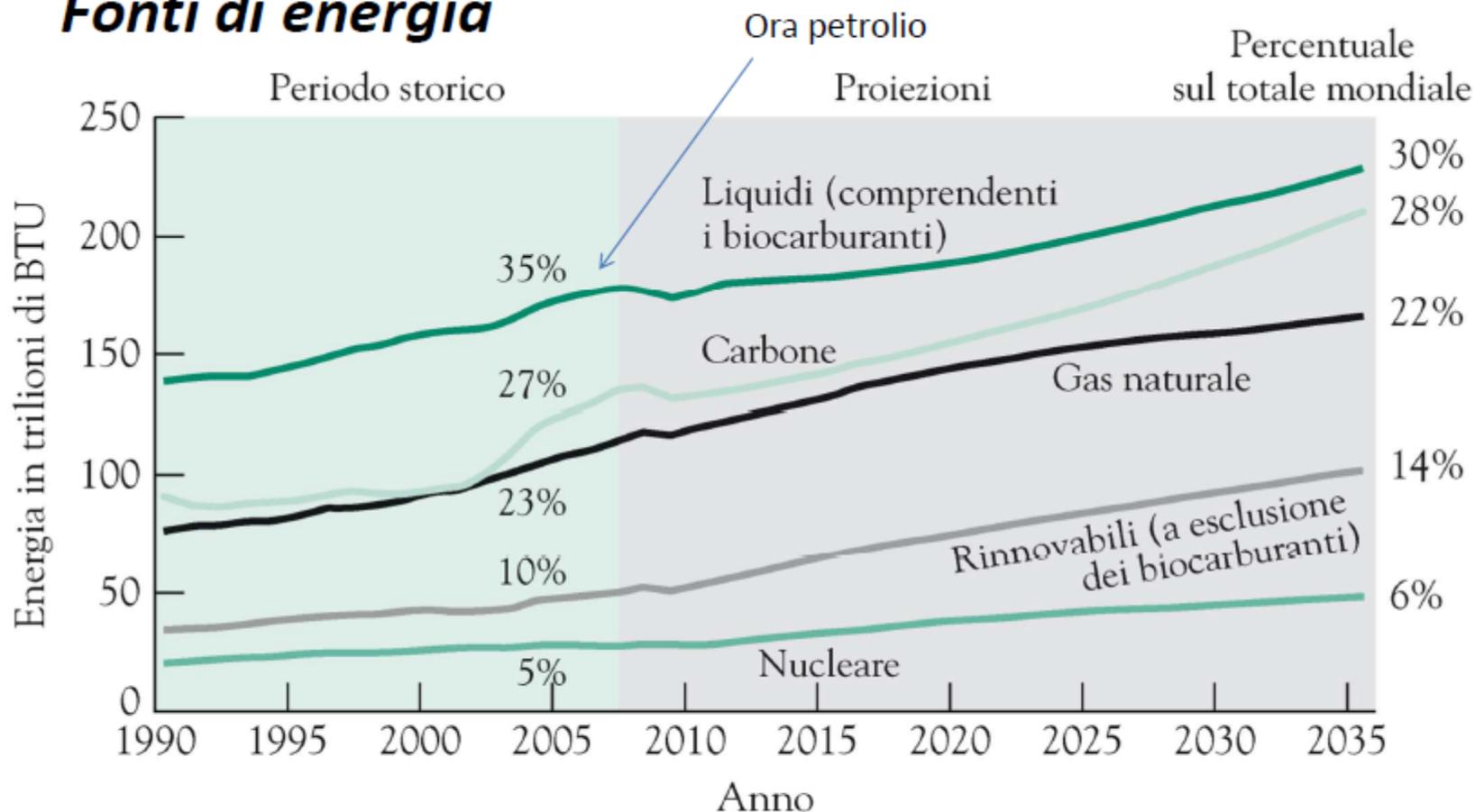
Il prezzo è ovviamente influenzato dalle dinamiche fra domanda e offerta e risente fortemente

- della situazione politico-sociale contingente (come nel caso delle crisi petrolifere degli anni settanta) e
- delle previsioni, aspettative e speculazioni (anche di natura puramente finanziarie) sulla disponibilità futura delle risorse

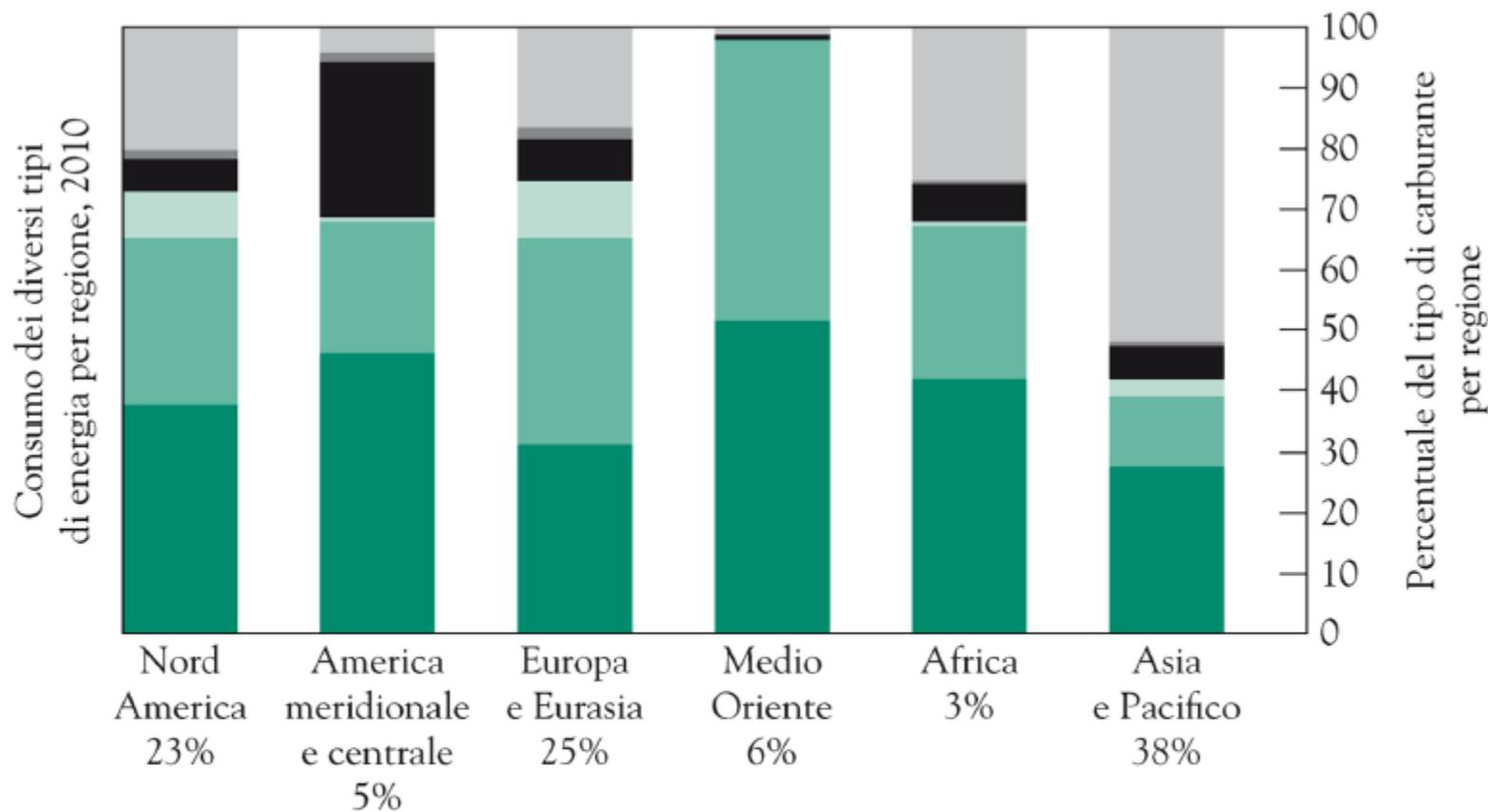
Estratto da «Energia e Salute della Terra» di Giulio De Leo, Giorgio Guariso e Giulia Fiorese  
Fondazione Boroli, 2009

<http://www.fondazioneaegboroli.it/images/pdf/energia-salute-terra/energia.pdf>

## Fonti di energia



Il British thermal unit (BTU o Btu) è un'unità di misura dell'energia, usata negli Stati Uniti e nel Regno Unito (dove è generalmente usata nei sistemi di riscaldamento). La corrispondente unità di misura utilizzata nel Sistema Internazionale è, invece, il joule (J). Una BTU è definita dalla quantità di calore richiesta per alzare la temperatura di 1 libbra (ovvero 453,59237 grammi) di acqua da 39 °F a 40 °F (3.8 °C a 4.4 °C).



**FIGURA 6.4** Consumo dei vari tipi di energia per regione geografica nel 2010. Il carbone è mostrato in grigio chiaro; le energie rinnovabili in grigio scuro; l'energia idroelettrica in nero; l'energia nucleare in verde chiaro; il gas naturale in verde di tonalità media; il petrolio in verde scuro.  
 [Fonte: adattata da BP, *Statistical Review of World Energy 2011*.]

La **densità energetica** indica semplicemente quanta energia si può produrre da una specifica unità (in volume o in massa) di un certo combustibile.

Per misurare la resa energetica di tutta la catena di approvvigionamento di un combustibile sono state proposte metodologie come, ad esempio, il Ritorno Energetico sull'Investimento (in inglese **Energy Return on Investment, EROI**). Questo indice viene calcolato come rapporto fra l'energia ricavata da un impianto o con una certa tecnologia (escluso il calore di scarto) e tutta l'energia spesa per arrivare al suo ottenimento.

Tabella 1.3.: Calcolo del Ritorno Energetico sull'Investimento (EROI) per alcune tecnologie di produzione di energia elettrica. Fra parentesi l'intervallo minimo-massimo dell'EROI (fonte: Università di Sidney, Life-Cycle Energy Balance and Greenhouse Gas Emissions of Nuclear Energy in Australia, 2006)

<b>Tecnologia</b>	<b>EROI</b>
Fotovoltaico	3.0 ( 1.5 - 6.2)
Nucleare, acqua pesante	5.0 (2,8 - 5.5)
Nucleare, acqua leggera	5.5 (2.5 - 6.2)
Turbine eoliche	15.1 (8.3 - 24)
Mini-idroelettrico	21.7 (7.3 - 50)



Per il calcolo dell'EROI è necessario studiare la catena di produzione del combustibile lungo tutto il suo ciclo di vita considerando accuratamente le eventuali specificità di ogni particolare fonte, tecnologia e localizzazione dell'impianto o dei giacimenti estrattivi. Ad esempio, l'EROI può cambiare sensibilmente da sito a sito (ci sono giacimenti da cui è molto facile estrarre petrolio o carbone, altri da cui invece è molto difficile). Inoltre, l'EROI può cambiare nel tempo sia in funzione delle tecnologie che man mano si rendono disponibili sia del livello di sfruttamento di un giacimento.

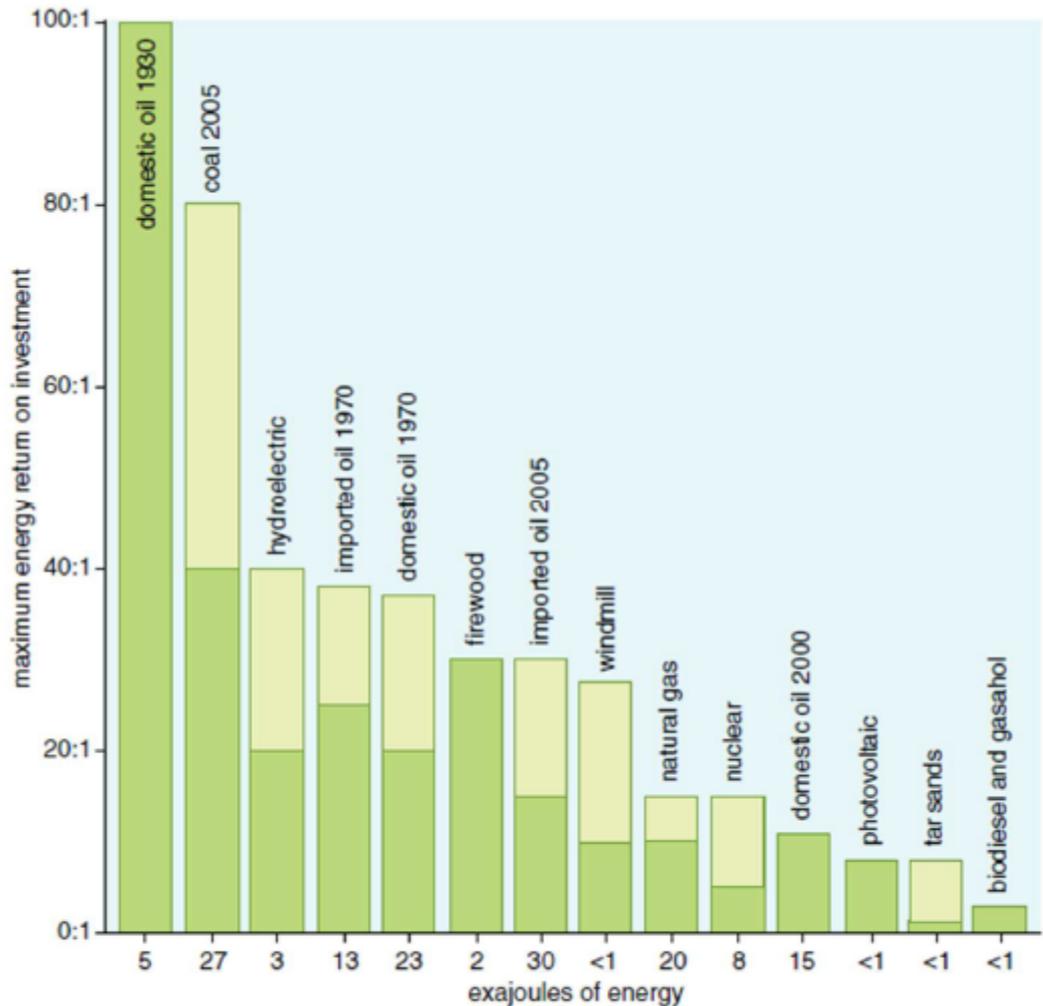


Figure 10. The energy return on investment (EROI) is the energy cost of acquiring an energy resource; one of the objectives is to get out far more than you put in. Domestic oil production's EROI has decreased from about 100:1 in 1930, to 40:1 in 1970, to about 14:1 today. The EROI of most "green" energy sources, such as photovoltaics, is presently low. (Lighter colors indicate a range of possible EROI due to varying conditions and uncertain data.) EROI does not necessarily correspond to the total amount of energy in exajoules produced by each resource

C.A.S.Hall, J.W.Day Jr., "Revisiting the Limits to Growth After Peak Oil", Am. Sci. 97 (2009) 230

- [Charles A.S. Hall](#) , [Jessica G. Lambert](#), [Stephen B. Balogh](#) **EROI of different fuels and the implications for society** [Energy Policy](#) [Volume 64](#), January 2014, Pages 141–152
- [doi:10.1016/j.enpol.2013.05.049](#)

# I combustibili fossili

- Maggior parte dell'energia commerciale è prodotta per combustione di combustibili fossili (-> CO<sub>2</sub>, gas serra)
- Carbone: principale riserva di fossili (con attuali tassi di consumo disponibile per altri 200 anni).  
Principalmente C da grafite (<-lignina).
- Calore prodotto da combustione di combustibili fossili primari viene trasformato in vapore, che fa girare turbine che generano elettricità (energia secondaria)

Combustibili fossili solidi derivano, com'è noto, dalla carbonizzazione di biomasse Legnose. Si differenziano per % carbonio (da 50% per carboni giovani, fino a oltre 90%

**Tabella 1.4: Principali combustibili solidi derivati da biomasse legnose**

Torba	carbonizzazione di vegetali erbacei, mescolata con terriccio, nessun uso industriale
Lignite	carbonizzazione di piante ad alto fusto
Litantrace	è il carbon fossile, bassa umidità, basso tenore di ceneri, viene distillato per produrre coke e gas combustibili
Antracite	termine estremo del processo di carbonizzazione, basso tenore di sostanze volatili, difficoltà all'innesco, uso domestico per riscaldamento
Coke	porzione di litantrace solida dopo riscaldamento a 900-1000° in assenza di aria, pregiato se poco poroso e resistente a compressione, è utilizzato in altoforno

**Tabella 1.7: Composizione chimica e densità energetica del legno e dei quattro principali tipi di carbone. La densità energetica è espressa come potere calorifico inferiore medio (P.C.), ovvero la quantità di calore che si può ricavare da 1 kg di combustibile.**

Sostanza	% C	% H	% O	% N	% S	% ceneri	P.C. (kcal/kg)
Legno	50 - 54	6 - 6,5	43,5 - 44	0,3 - 0,5	0	0,5 - 1,2	2.500 - 4.500
Torba	50 - 60	5,5 - 6,5	30 - 48	0,8 - 3	0,1 - 0,2	3 - 25	3.000 - 4.500
Lignite	60 - 75	5 - 6	20 - 45	0,7 - 2	1 - 12	3 - 8	4.000 - 6.200
Litantrace	75 - 90	4,5 - 5,5	5 - 15	0,7 - 2	0,5 - 4	0,5 - 4	7.600 - 9.000
Antracite	92 - 95	2 - 2,5	3	0,5 - 1	0,5 - 2	0,5 - 2	8.300 - 9.000

**Tabella 1.9: Poteri calorifici di alcuni combustibili fissati per convenzione dalla norma internazionale UNI 10389**

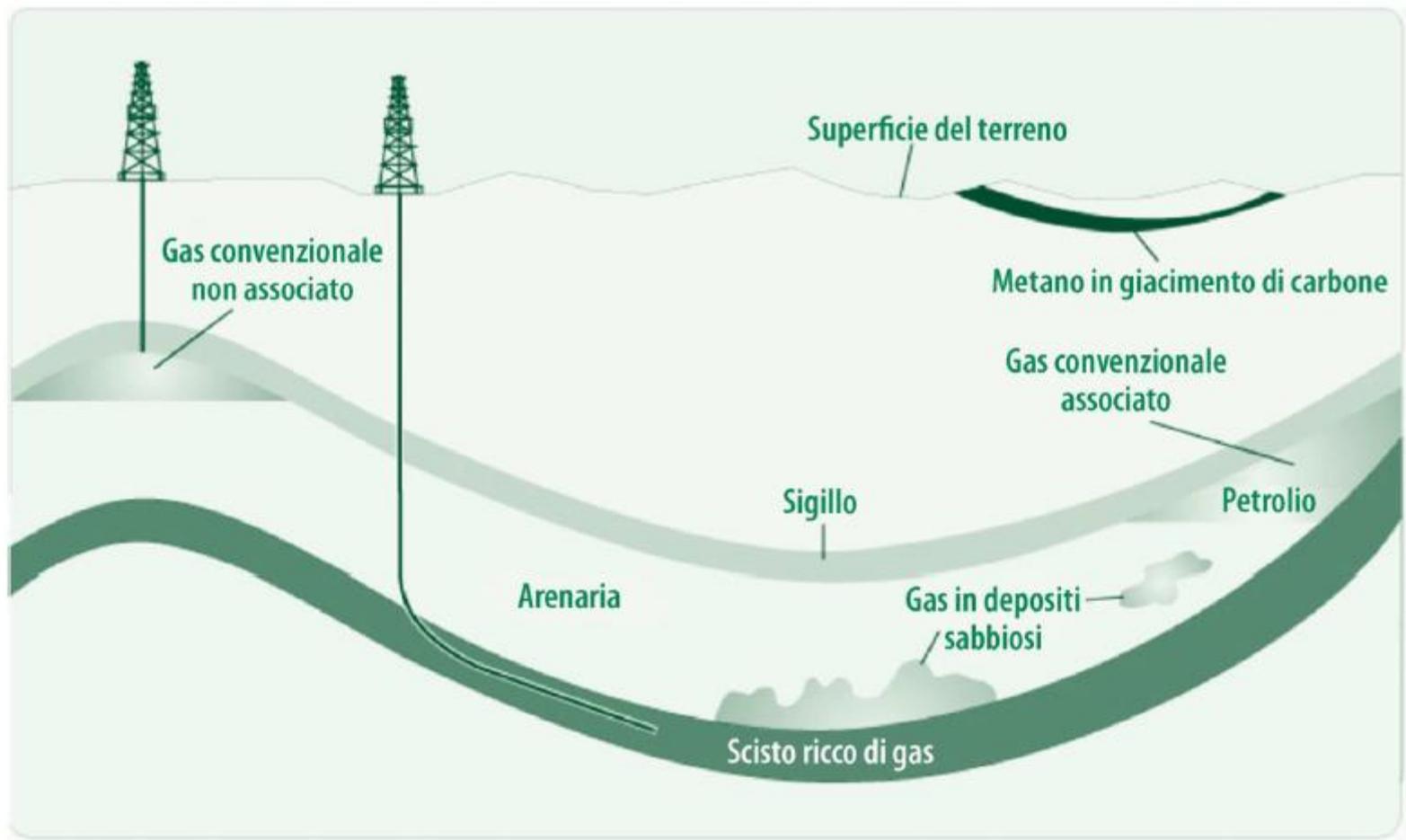
Gas naturale	8250 kcal/m <sup>3</sup> (a press. Atm. a 15 °C)
Gas di petrolio liquefatto - GPL	27000 kcal/m <sup>3</sup> (a press. Atm. A 15 °C)
Gasolio	10210 kcal/kg
Olio combustibile	9870 kcal/kg

Il **gas naturale**, una miscela di vari gas fra cui principalmente metano (fra il 70 e 90%) ed etano, butano, propano e pentano, tutti composti più o meno complessi del carbonio, è stato considerato indesiderabile dai petrolieri quando usciva dai pozzi e solo nella seconda metà del secolo scorso si è cominciato a sfruttarlo commercialmente grazie allo sviluppo di tecnologie per il trasporto e la compressione. Metano ha ( $T_{eb} = -164^{\circ}\text{C}$ ), è liquefatto a 200 atm. Da etano (fino a 10% di gas naturale) si ottiene etilene e polietilene. La densità energetica di 1 kg del butano è poco più di un terzo di quella di 1 kg di idrogeno, ma quest'ultimo ha una densità energetica per unità di volume che è dieci volte inferiore a quelle del propano e butano (Tabella 1.8) che sono più facili da liquefare dell'idrogeno.

**Tabella 1.8: (densità energetica) per unità di massa e di volume (in litri o normal m<sup>3</sup> a pressione atmosferica e a 15°C) di alcuni combustibili liquidi e gassosi.**

Combustibile	MJ/volume	kcal/massa
Gasolio	41 MJ/l	9.799 kcal/kg
Benzina	44 MJ/l	10.031 kcal/kg
Alcool etilico	22 MJ/l	6.479 kcal/kg
Propano	99,2 MJ/Nm <sup>3</sup>	11.796 kcal/kg
Butano	124,9 MJ/Nm <sup>3</sup>	10.984 kcal/kg
Metano	36,0 MJ/Nm <sup>3</sup>	11.940 kcal/kg
Idrogeno	10,8 MJ/Nm <sup>3</sup>	28.567 kcal/kg





Gas convenzionale non associato

Superficie del terreno

Metano in giacimento di carbone

Gas convenzionale associato

Petrolio

Sigillo

Arenaria

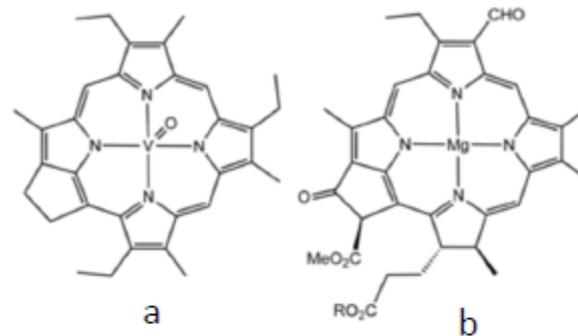
Gas in depositi sabbiosi

Scisto ricco di gas

# Il petrolio

Il petrolio greggio si presenta come un liquido denso, vischioso, dall'odore caratteristico e di colore variante da giallo-bruno a nerastro, costituito principalmente da una miscela di idrocarburi liquidi (**olio**) e, in proporzione minore, gassosi (**gas naturale**) e solidi (**bitumi e asfalti**). E' una complessa miscela di migliaia di composti la maggior parte dei quali sono idrocarburi: i più abbondanti appartengono alla serie degli alcani lineari e ramificati. Nei petroli naftenici sono abbondanti i.c. in forma ciclica (es, metil ciclopentano e cicloalcano ). Si concentra in **bacini sedimentari** dove è presente all'interno di rocce porose. In genere in queste rocce si ritrovano gas, petrolio e acqua distribuiti secondo la loro densità, ovvero: il gas, più leggero, negli strati più alti bloccato dagli strati impermeabili; sotto, il petrolio; e alla base, l'acqua, più pesante. Greggio e carburanti derivati han vantaggio: di esser liquidi ed a alta densità di energia (trasporto, stoccaggio, uso).

Anche il petrolio si è formato in tempi geologici in seguito all'alterazione termica di depositi di materiale organico accumulatosi in diverse migliaia d'anni e ricoperto successivamente da strati impermeabili che ne hanno impedito la fuoriuscita e dispersione nell'ambiente (teoria di M.V. Lomonosov nel XVIII secolo, confermata da Alfred E. Treibs, che evidenziò l'analogia strutturale tra una molecola di metalloporfirina (a) che aveva rintracciato nel petrolio nel 1930 e la molecola della clorofilla (b)).



Il materiale biologico dal quale deriva il petrolio si ritiene sia costituito da organismi unicellulari marini vegetali e animali (fitoplancton e zooplancton) rimasti sepolti nel sottosuolo centinaia di milioni di anni fa, in particolare durante il paleozoico

La composizione del petrolio può variare sensibilmente a seconda del giacimento e si usa distinguere in base alla densità fra oli pesanti (minore di 26° API, una scala fissata dall'American Petroleum Institute, indicata quindi con API), medi (scala API compresa fra 26° e 34°) e leggeri, i più pregiati (sopra i 34°).

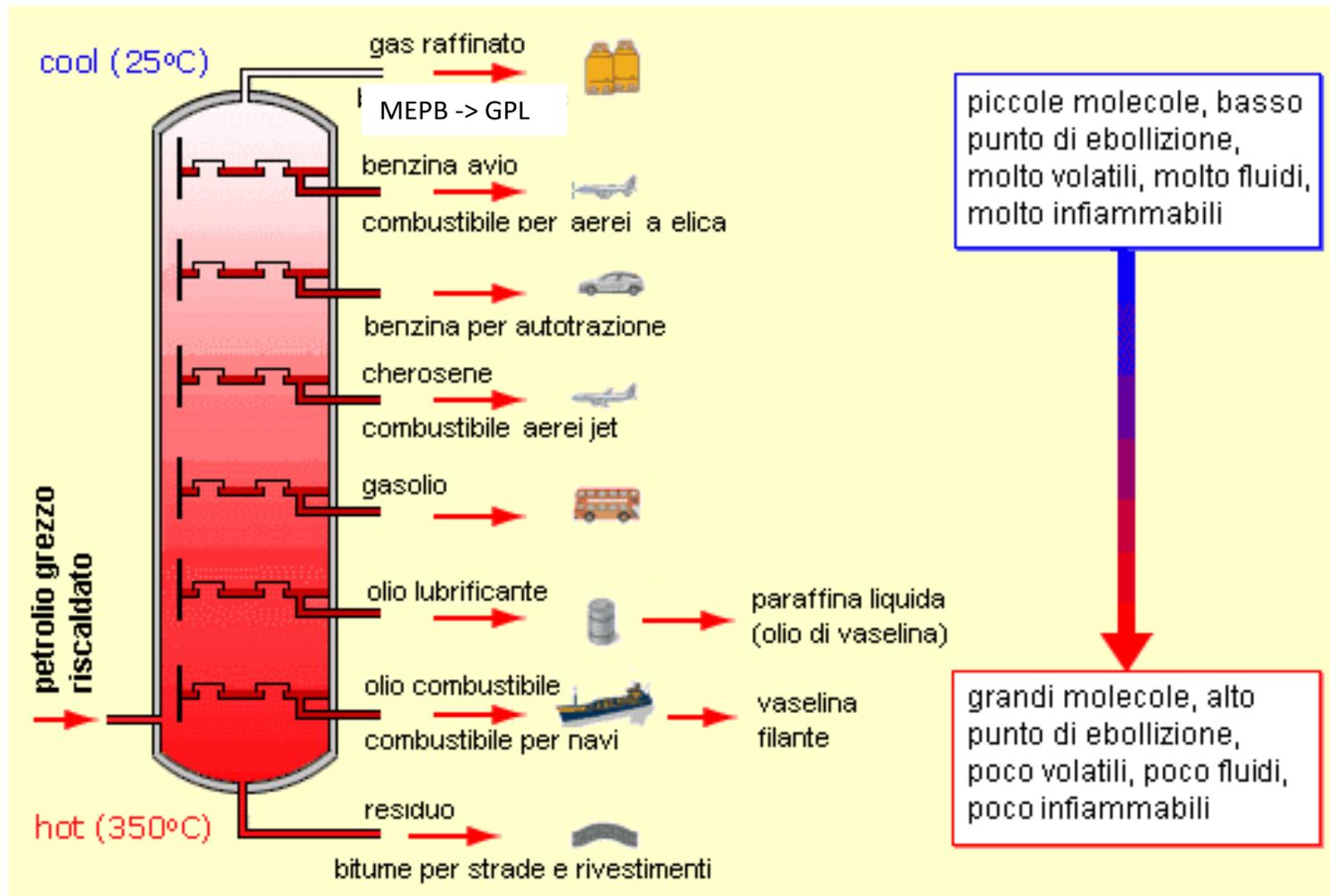
$$^{\circ}\text{API} = 141,5/\rho^* - 131,3 \quad \text{dove } \rho^* \text{ è la densità relativa rispetto all'acqua.}$$

Un altro parametro importante per la caratterizzazione del greggio è il contenuto di zolfo: il greggio viene detto “sweet” (dolce) quando il contenuto di zolfo è inferiore allo 0,5% in volume, e “medium sour” e “sours” (acido) rispettivamente quando il contenuto di zolfo è compreso fra lo 0,5% e l'1,5% o superiore. I greggi a basso contenuto di zolfo sono di maggior valore perché se ne possono ottenere derivati più pregiati nei processi di raffinazione

**Tabella 1.5: Principali combustibili liquidi derivati del petrolio**

Benzina	prima frazione di distillazione (Temperatura di ebollizione = 30-200°C), miscela di idrocarburi con 4-12 atomi di C, alta volatilità, elevato potere antidetonante
Cherosene	seconda frazione di distillazione (T.eb.=150-280 °C), densità più elevata della benzina, bassa volatilità, usato per alimentazione di motori a turbina, riscaldamento
Gasolio	terza frazione di distillazione (T.eb.= 250-350°C), usato per motori diesel, elevata tendenza all'accensione spontanea
Oli combustibili	residui della distillazione, viscosità variabile. ma piuttosto elevata

Colonna di distillazione con piatti a campanelle



benzine evaporano a meno di 150°C,  
il kerosene tra 150 e 200°C,  
il gasolio tra i 200 e i 300°C,  
la nafta tra 300 e 370°C,  
asfalti e paraffine 350-400°C (con qualche lavorazione extra).

Zolfo 0,5 : 4%

Composti azotati

V, Ni, Fe fino a 1000 ppm (nel residuo)



Crude: **AZERI LIGHT 2015 04**  
Reference: **AZERILIGHT201504**

Composizione dei greggi variabile  
Con resa diversa delle varie frazioni  
Es. dal web

## Crude Summary Report

General Information		Molecules (% wt on crude)		Whole Crude Properties	
Name:	AZERI LIGHT 2015 04	methane + ethane	0,03	Density @ 15°C (g/cc)	0,848
Reference:	AZERILIGHT201504	propane	0,20	API Gravity	35,2
Traded Crude:	Azeri Light	isobutane	0,16	Total Sulphur (% wt)	0,14
Origin:	Azerbaijan	n-butane	0,57	Pour Point (°C)	-3
Sample Date:	22 April 2015	isopentane	0,51	Viscosity @ 20°C (cSt)	12
Assay Date:	02 July 2015	n-pentane	0,66	Viscosity @ 40°C (cSt)	6
Issue Date:	17 August 2015	cyclopentane	0,08	Nickel (ppm)	2,9
Comments:	Reference: M15AZE1. Azeri quality from Supsa (Black Sea) load port.	C <sub>6</sub> paraffins	1,41	Vanadium (ppm)	0,3
		C <sub>8</sub> naphthenes	0,90	Total Nitrogen (ppm)	1197
		benzene	0,09	Total Acid Number (mgKOH/g)	0,34
		C <sub>7</sub> paraffins	1,34	Mercaptan Sulphur (ppm)	10
		C <sub>7</sub> naphthenes	1,69	Hydrogen Sulphide (ppm)	-
		toluene	0,42	Reid Vapour Pressure (psi)	2,7

Cut Data	IBP	IBP
Start (°C)	IBP	IBP
End (°C)	FBP	C4
Yield (% wt)		1,0
Yield (% vol)		1,5
Cumulative Yield (% wt)		1,0
Density @ 15°C (g/cc)	0,848	
API Gravity	35,2	
UOPK	12,1	
Total Sulphur (% wt)	0,142	
Mercaptan Sulphur (ppm)	10	

**ExxonMobil**  
Refining and Supply Company

22777 Springwoods Village Parkway,  
Spring, TX 77389

**BASRH16B**

Cut volume, %  
API Gravity,  
Specific Gravity (60/60F),  
Carbon, wt %  
Hydrogen, wt %  
Pour point, F  
Neutralization number (TAN), MG/GM  
Sulfur, wt%  
Mercaptan sulfur, ppm

**ExxonMobil**  
Refining & Supply

Whole crude	Butane and Lt. Naphtha		Hvy Naphtha		Kerosene Diesel		Vacuum Gas Oil		Vacuum Residue
	Lighter IBP - 60F	C5 - 165F	165 - 330F	330 - 480F	480 - 650F	650 - 1000F	1000F+		
100.0	1.6	4.6	11.3	11.4	14.2	29.3	27.5		
24.0	125.6	87.7	60.5	46.0	32.9	18.7	1.4		
0.910	0.550	0.646	0.737	0.797	0.861	0.942	1.064		
84.2	82.4	83.6	85.4	85.5	85.0	84.0	83.4		
12.5	17.6	16.4	14.6	14.2	13.0	11.8	11.0		
(50.4)			(103.5)	(59.8)	6.0	88.5	123.1		
0.237	0.000	0.003	0.035	0.097	0.203	0.339	0.286		
3.831	0.001	0.007	0.055	0.394	2.054	4.058	7.006		
123.9	10.9	59.4	77.1	95.4	68.9	10.0	0.1		

- Benzina principalmente idrocarburi  $C_7-C_9$
- Gasolio per motori diesel  $C_9-C_{11}$
- Formulazioni diverse in estate (meno butano e pentano) ed in inverno
- Mix vapori di benzina e  $O_2$  tende a accendersi spontaneamente nel cilindro -> antidetonanti
- 2,2,4 trimetilpentano (isooctano) ha eccellenti caratteristiche di combustioni (numero di ottano posto a 100, n-eptano posto a 0), benzina non additivata ha n.o. circa 50, troppo basso.
- Additivi antidetonanti: in passato Pb tetraetile e Pb tetrametile, MMT (metilciclopentadienil Manganese Trimetil) poi MTBE (116), BTX: B(106), T(118), metanolo (116), etanolo (112)

# Petrolio greggio: le scorte

In 200 anni abbiamo consumato quasi tutto il «facilmente estraibile» prodotto in 500000 anni.

Produzione USA (Alaska esclusa) ha già raggiunto suo picco

Produzione mondiale 2010: 5000 miliardi di litri o 32miliardi di barili (1 barile = 159 litri)

Gran parte di riserve accertate sono in Medio Oriente.

Migliorano tecnologie

Estrattive e si scoprono

Nuovi giacimenti

(Estrazione primaria,

Secondaria, terziaria)

Primaria: P atm o pompe

Secondaria: acqua o gas

(lascia fino 75% greggio)

**Enhanced Oil Recovery (EOR)**

Terziaria: recupero termico (vapore)

chemical flooding

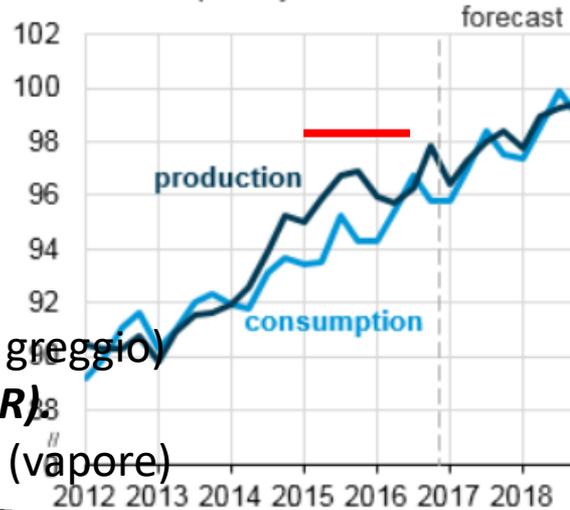
(polimeri e tensioattivi),

gas (CO<sub>2</sub>) !!!

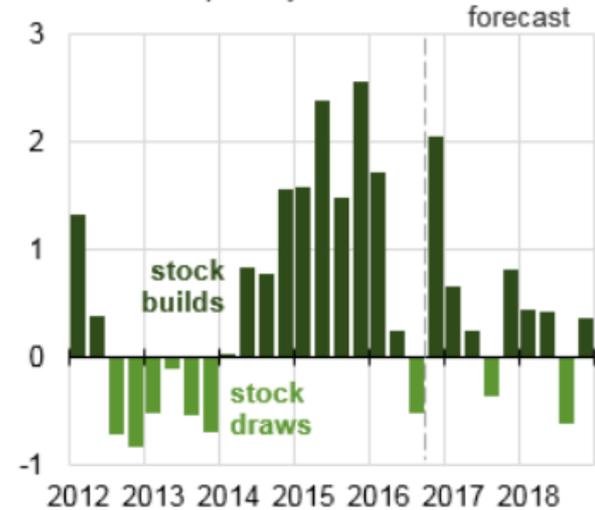
JANUARY 25, 2017

## Global crude oil balances expected to tighten through 2018

World liquid fuels production and consumption balance  
million barrels per day

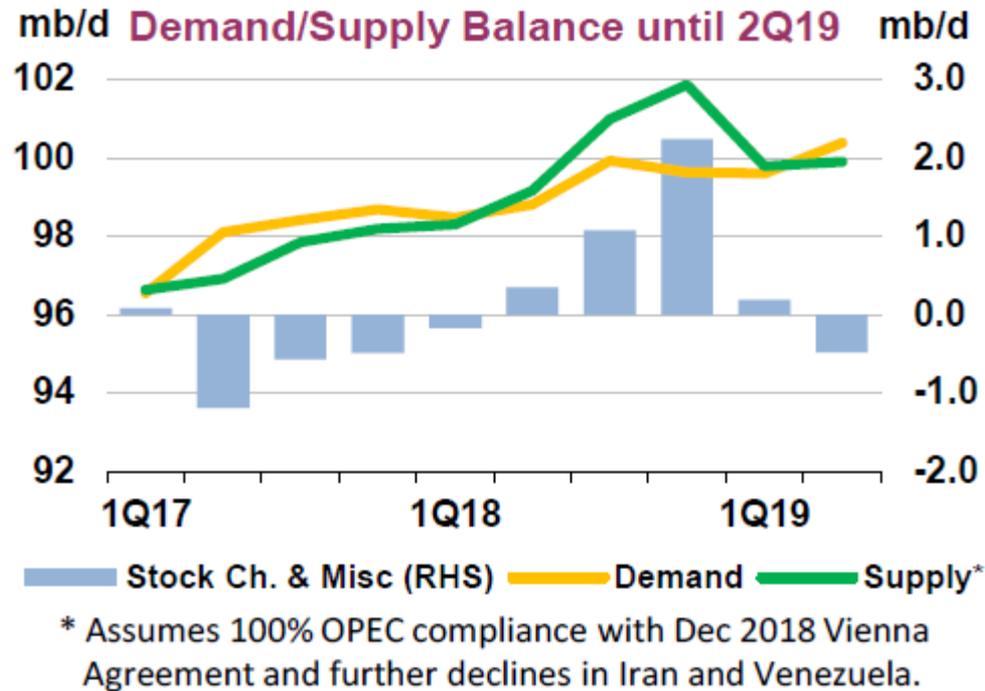


World liquid fuels production and consumption balance  
million barrels per day



Source: U.S. Energy Information Administration, Short-Term Energy Outlook, January 2017

*da non confondere con fratturazione idraulica*



<https://www.iea.org/oilmarketreport/reports/2019/0319/>

International Energy Agency

Mar 14, 2019,

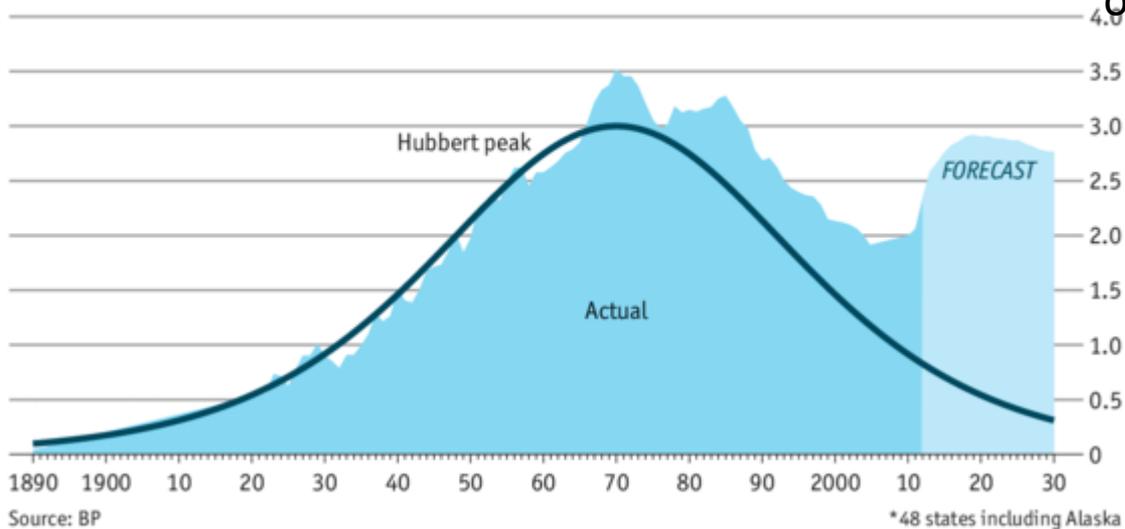
<https://oilprice.com/Energy/Energy-General/Was-2018-The-Peak-For-Crude-Oil-Production.html>

12 Marzo 2019

<https://www.qualenergia.it/articoli/petrolio-per-la-iea-nessun-picco-in-vista-e-riparte-la-rivoluzione-dello-shale-oil/>

## American\* crude oil production

Billion barrels per year



Economist.com/graphicdetail

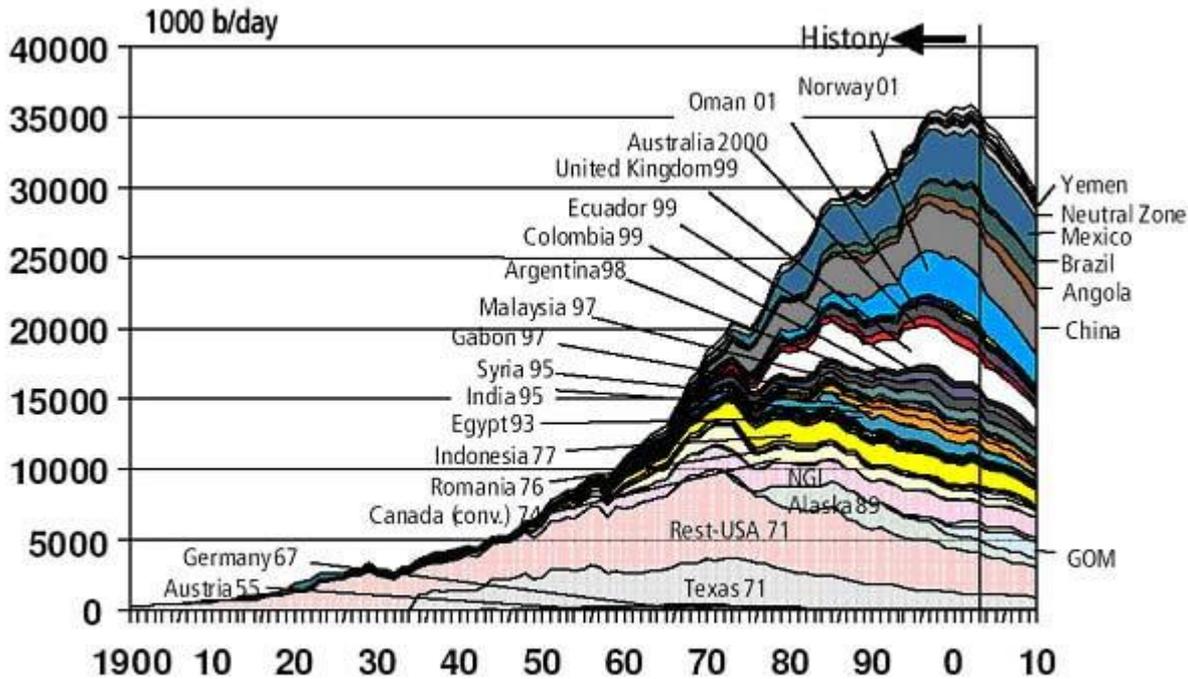
<https://www.economist.com/blogs/graphicdetail/2013/03/focus-0>

La questione del picco del petrolio  
o della curva di Hubbert

### FASI DI PRODUZIONE

1. espansione rapida
2. inizio dell'esaurimento
3. picco e declino
4. declino finale

La teoria del picco di Hubbert è una teoria scientifica proposta nel 1956 dal geofisico americano Marion King Hubbert (<http://www.hubbertpeak.com/hubbert/1956/1956.pdf>) che **modella l'evoluzione temporale della produzione di una qualsiasi risorsa minerale o fonte fossile esauribile** o fisicamente limitata come una curva di Hubbert. Dai dati sulla storia estrattiva di un giacimento minerario, la teoria mira a prevedere la data di produzione massima della risorsa estratta nel giacimento (anche per un insieme di giacimenti o una intera regione). Il punto di produzione massima, oltre il quale la produzione può soltanto diminuire, viene detto *picco di Hubbert*. Correlata a necessità di ricerca di altro tipo di risorse. La teoria fu proposta come modello empirico basato sull'osservazione di dati estrattivi storici e dei fattori economici che possono intervenire in una [economia di mercato](#) per una risorsa fisicamente limitata (come il [petrolio](#)) e in seguito vi fu affiancata una trattazione matematica. La produzione è condizionata da prezzo di *mercato* e tecnologie.



Source: Industry database, 2003 (IHS 2003)  
OGJ, 9 Feb 2004 (Jan-Nov 2003)

Mar 14, 2019,

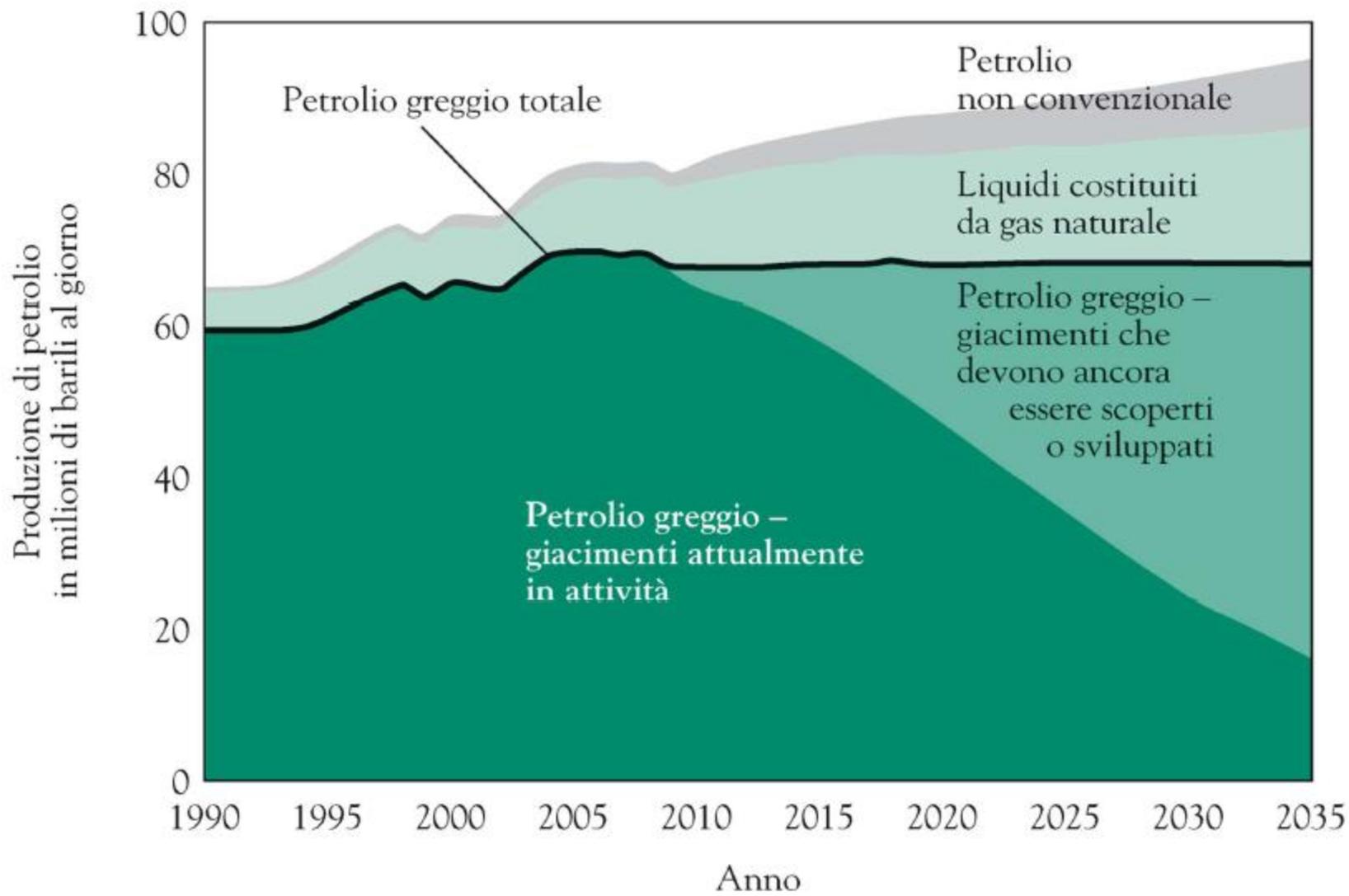
<https://oilprice.com/Energy/Energy-General/Was-2018-The-Peak-For-Crude-Oil-Production.html>

12 Marzo 2019

<https://www.qualenergia.it/articoli/petrolio-per-la-iea-nessun-picco-in-vista-e-riparte-la-rivoluzione-dello-shale-oil/>

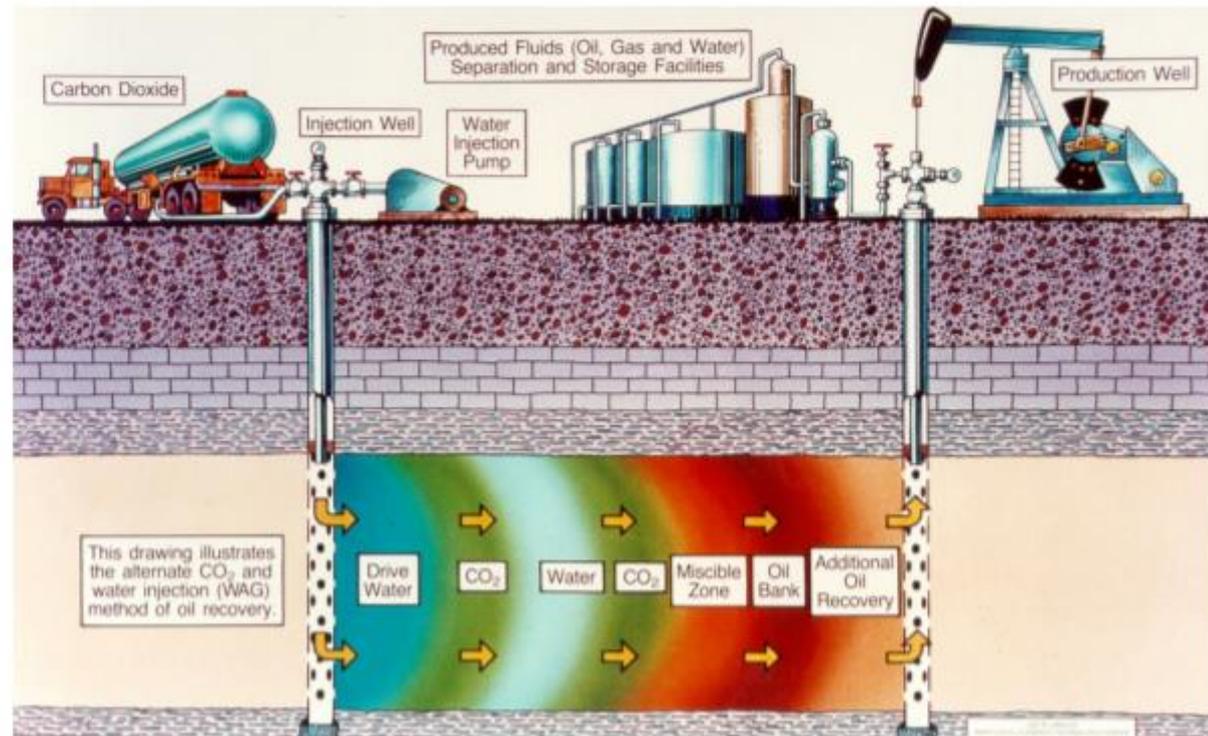
**EXECUTIVE SUMMARY** The peaking of world oil production presents the U.S. and the world with an unprecedented risk management problem. **As peaking is approached, liquid fuel prices and price volatility will increase dramatically, and, without timely mitigation, the economic, social, and political costs will be unprecedented.** *Viable mitigation options exist on both the supply and demand sides, but to have substantial impact, they must be initiated more than a decade in advance of peaking.* In 2003, the world consumed just under 80 million barrels per day (MM bpd) of oil. U.S. consumption was almost 20 MM bpd, two-thirds of which was in the transportation sector. The U.S. has a fleet of about 210 million automobiles and light trucks (vans, pick-ups, and SUVs). The average age of U.S. automobiles is nine years. Under normal conditions, replacement of only half the automobile fleet will require 10-15 years. The average age of light trucks is seven years. Under normal conditions, replacement of one-half of the stock of light trucks will require 9-14 years. While significant improvements in fuel efficiency are possible in automobiles and light trucks, any affordable approach to upgrading will be inherently time-consuming, requiring more than a decade to achieve significant overall fuel efficiency improvement.

Besides further oil exploration, there are commercial options for increasing world oil supply and for the production of substitute liquid fuels: **1) Improved Oil Recovery (IOR)** can marginally increase production from existing reservoirs; one of the largest of the IOR opportunities is **Enhanced Oil Recovery (EOR)**, which can help moderate oil production declines from reservoirs that are past their peak production; **2) Heavy oil / oil sands** represents a large resource of lower grade oils, now primarily produced in Canada and Venezuela; those resources are capable of significant production increases; 3) Coal liquefaction is a well established technique for producing clean substitute fuels from the world's abundant coal reserves; and finally, 4) Clean substitute fuels can be produced from remotely located natural gas, but exploitation must compete with the world's growing demand for liquefied natural gas. However, world-scale contributions from these options will require 10-20 years of accelerated effort. ...



<https://www.cleanwater.org/publications/EOR-risks>

Figure 4.1:  
Water Alternating  
Gas Diagram



**Source:** Lindley, Joe. *Miscible Recovery*. U.S. Department of Energy National Energy Technology Laboratory, 2001. Retrieved from: <https://www.netl.doe.gov/research/oil-and-gas/enhanced-oil-recovery/eor-process-drawings>

Carbon Capture and Storage and Climate Effects of CO<sub>2</sub>-EOR  
Si sequestra CO<sub>2</sub> liberando petrolio



*Il petrolio di scisto* (in inglese *shale oil*) è un petrolio non convenzionale prodotto dai frammenti di rocce di scisto bituminoso mediante i processi di pirolisi, idrogenazione o dissoluzione termica. Questi processi convertono la materia organica all'interno della roccia (kerogene) in petrolio e gas sintetico.

Le *sabbie bituminose* sono rocce sedimentarie, con matrice terrigena formata da sabbia e argilla, le cui porosità sono riempite da acqua e bitume

<https://peakoil.com/production/energy-return-on-investment-of-canadian-oil-sands-extraction-from-2009-to-2015>



"L'età della pietra non è finita per mancanza di pietre. L'età del petrolio finirà assai prima che il mondo sia a corto di petrolio".

Sceicco Ahmed Zaki Yamani, ex ministro del petrolio dell'Arabia Saudita WIKI Laureato all'Università del Cairo Re Fouad I nel 1951, dopo aver studiato legge alla New York University e ad Harvard, con un dottorato all'università di Exeter, divenne consulente del governo saudita nel '58 e Ministro del petrolio nel 1962. Divenne noto anche in Occidente per il ruolo assunto durante l'embargo del 1973, quando spinse l'OPEC a quadruplicare il prezzo del greggio.

Nel dicembre del '75 venne catturato a [Vienna](#), insieme ad altri ministri dell'OPEC, dal celebre terrorista [Carlos lo Sciacallo](#). Nonostante l'ordine di uccidere Yamani, Carlos lo liberò dopo due giorni di fuga in aereo per il Medio Oriente.

Nel 1986 Re Fahd rimosse Yamani e [Abdulahdy Hassan Taher](#), fondatore della Petromin oils (oggi [Aramco](#)).

Nel 1990 ha fondato il Centro studi per l'energia globale, gruppo di analisi del mercato.

Climate strategies & targets

2020 climate & energy package

2030 climate & energy framework

2050 low-carbon economy

Progress

Economic analysis

Emissions Trading System (EU ETS)

Effort Sharing Decision

Low Carbon Technologies

Transport

Protection of the ozone layer

Fluorinated Greenhouse Gases

## 2050 low-carbon economy

Policy

Documentation

Studies

FAQ

The European Commission is looking at cost-efficient ways to make the European economy more climate-friendly and less energy-consuming.

Its low-carbon economy roadmap suggests that:

- By 2050, the EU should cut greenhouse gas emissions to 80% below 1990 levels
- Milestones to achieve this are 40% emissions cuts by 2030 and 60% by 2040
- All sectors need to contribute
- The low-carbon transition is feasible & affordable.

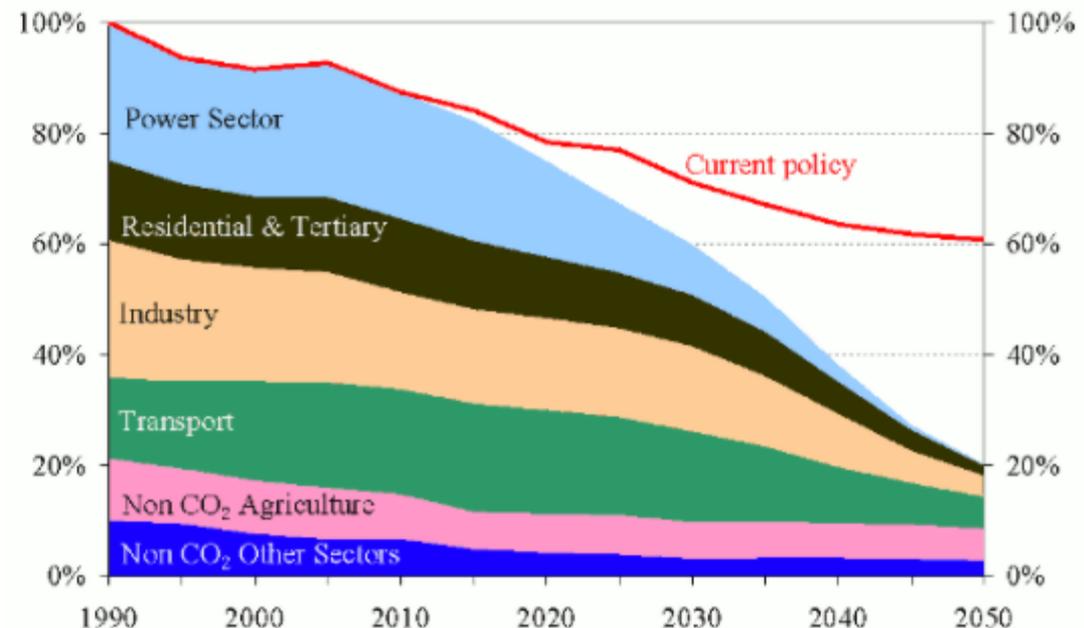
Action in all **main sectors** responsible for Europe's emissions – power generation, industry, transport, buildings, construction and agriculture – will be needed, but differences exist between sectors on the amount of reductions that can be expected.

## Power generation & distribution

The power sector has the biggest potential for cutting emissions. It can **almost totally** eliminate CO<sub>2</sub> emissions by 2050.

Electricity could partially **replace fossil fuels** in transport and heating.

Electricity will come from **renewable sources** like wind, solar, water and biomass or other **low-emission sources** like nuclear power plants or fossil fuel power stations equipped with carbon capture & storage technology. This will also require strong investments in **smart grids**.



Possible 80% cut in greenhouse gas emissions in the EU (100%=1990)

## Il sequestro di CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> può essere estratto dai gas di scarico dei grandi impianti industriali che lo rilascerebbero in atmosfera (exp. Centrali elettriche a combustibile fossile, responsabili di 1/3 delle emissioni antropiche di CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub>(g) verrebbe sequestrato e depositato in sito sotterraneo o oceanico, per evitare rilascio in aria (es. in pozzi o giacimenti esauriti). Attualmente in corso esperimenti su piccola scala di *Carbon Capture and Storage* <http://www.iea.org/topics/ccs/>

Nelle miscele di effluenti da combustioni, CO<sub>2</sub> è diluito (4% per centrali a GN, fino a 14% per centrali a carbone), e va quindi catturato e concentrato sul posto (spesa energetica elevata – da 30 a 50 % di energia prodotta da centrale). Può venir trasportato come fluido supercritico in tubature. Spesa energetica per CCS implica maggiori consumi di carburante e altre emissioni.

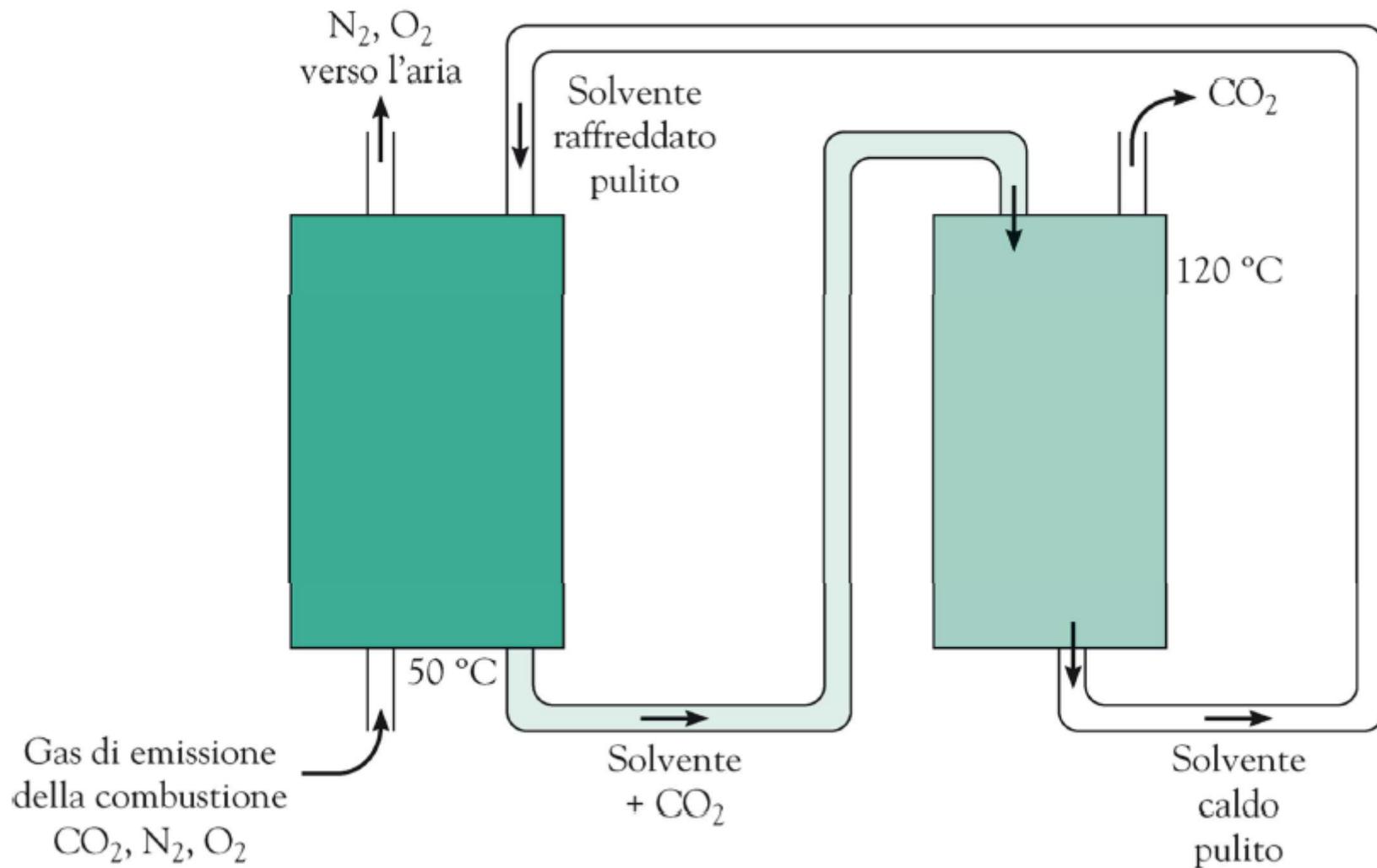
## Cattura reversibile del CO2

Si usa un agente che rimuova selettivamente il CO2 (sostanza che coordina debolmente e selettivamente CO2); Serve che agente di cattura sia riciclabile (es. riscaldando o diminuendo pressione)

CO2 è anidride acida, reagisce con acqua  $\rightarrow$  H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, quindi catturabile con basi. Le reazioni acido base sono rapide. Spesso si usano ammine. Gas di emissione raffreddati vengono fatti salire in torre a riempimento in cui scorre solvente sequestrante (es solvente che contiene 15-30% di ammine (RNH<sub>2</sub> o R<sub>2</sub>NH), basi deboli che si combinano con CO<sub>2</sub>:



Si usano ad esempio monoetanolammina e dietanolammina, idrosolubili, assorbono grandi quantità di gas e che richiedono poco calore per invertire reazione e rilasciare CO2 (si ottiene fino a 95% di recupero di CO2). Ossidi di azoto e zolfo devono essere allontanati da effluenti prima che entrino in soluzione (esistono tecnologie alternative (uso di carbonato come base debole, membrane, Li)



Per evitare necessità di isolare e concentrare CO<sub>2</sub> -> **ossicombustione** (O<sub>2</sub> (spesa energetica !?!) invece di aria)

## IMMAGAZINAMENTO DI CO<sub>2</sub>

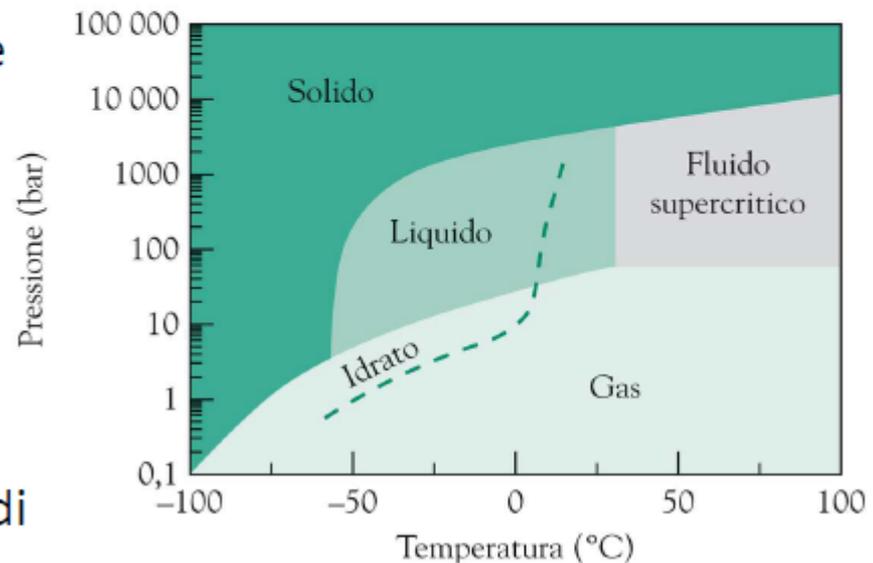
Varie tecniche e siti. Per valutare opzioni consideriamo fasi in cui CO<sub>2</sub> si trova a P e T diverse. Teniamo conto della presenza d'acqua.

A P atm raffreddando non abbiamo liquefazione ma «ghiaccio secco»

A pressioni moderatamente alte CO<sub>2</sub> è liquido, a T basse (0±12°C); condizioni «**marine**».

CO<sub>2</sub> diventa supercritico a P>72 atm e T>31°C; condizioni «**in profondità sotto terra**».

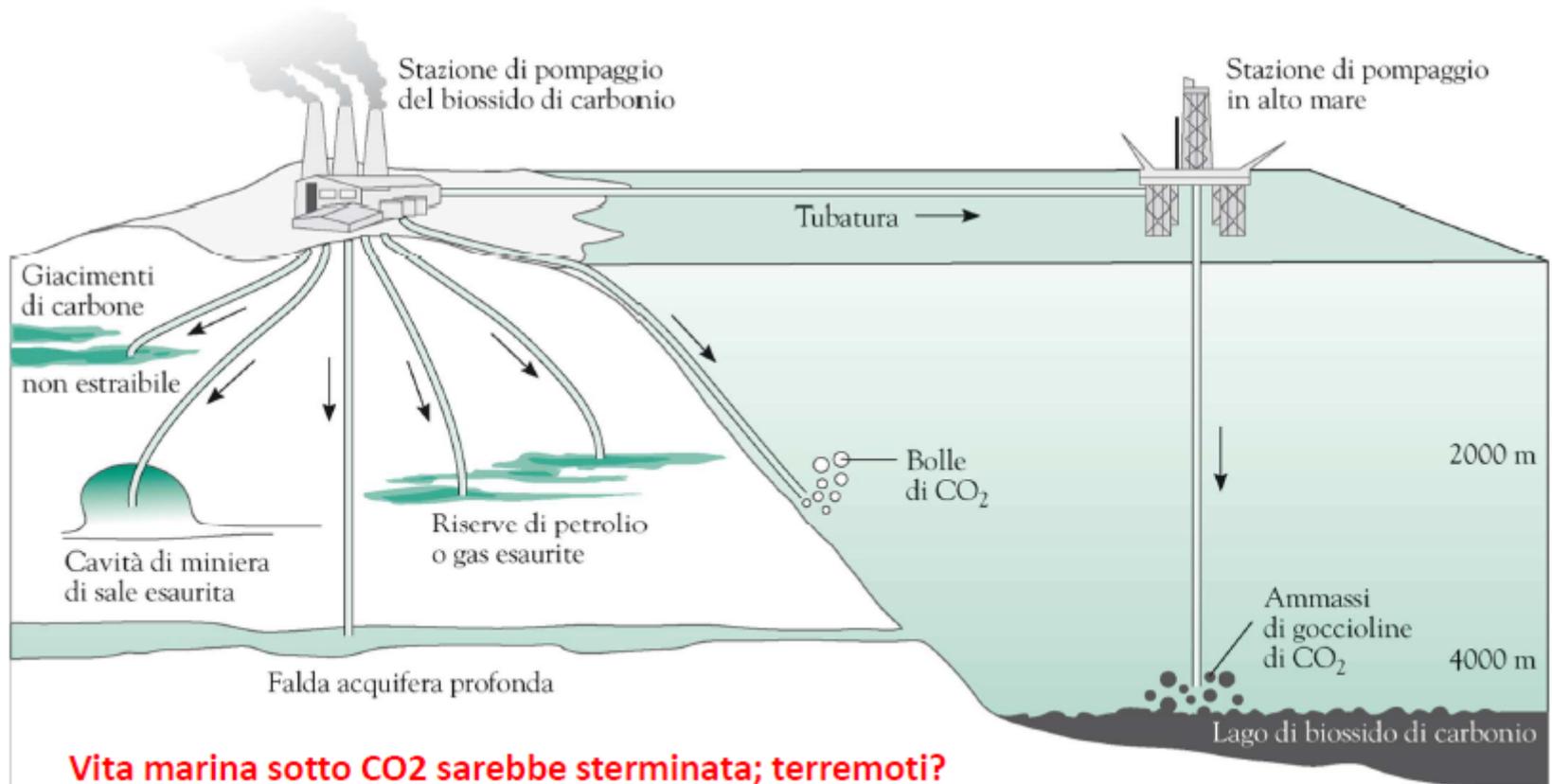
INOLTRE CO<sub>2</sub> più comprimibile di H<sub>2</sub>O ( P<270 atm CO<sub>2</sub> meno denso di H<sub>2</sub>O marina;



in acqua P aumenta 1 atm ogni 10 m; CO<sub>2</sub> più denso dell'acqua a 2700 m ca.)

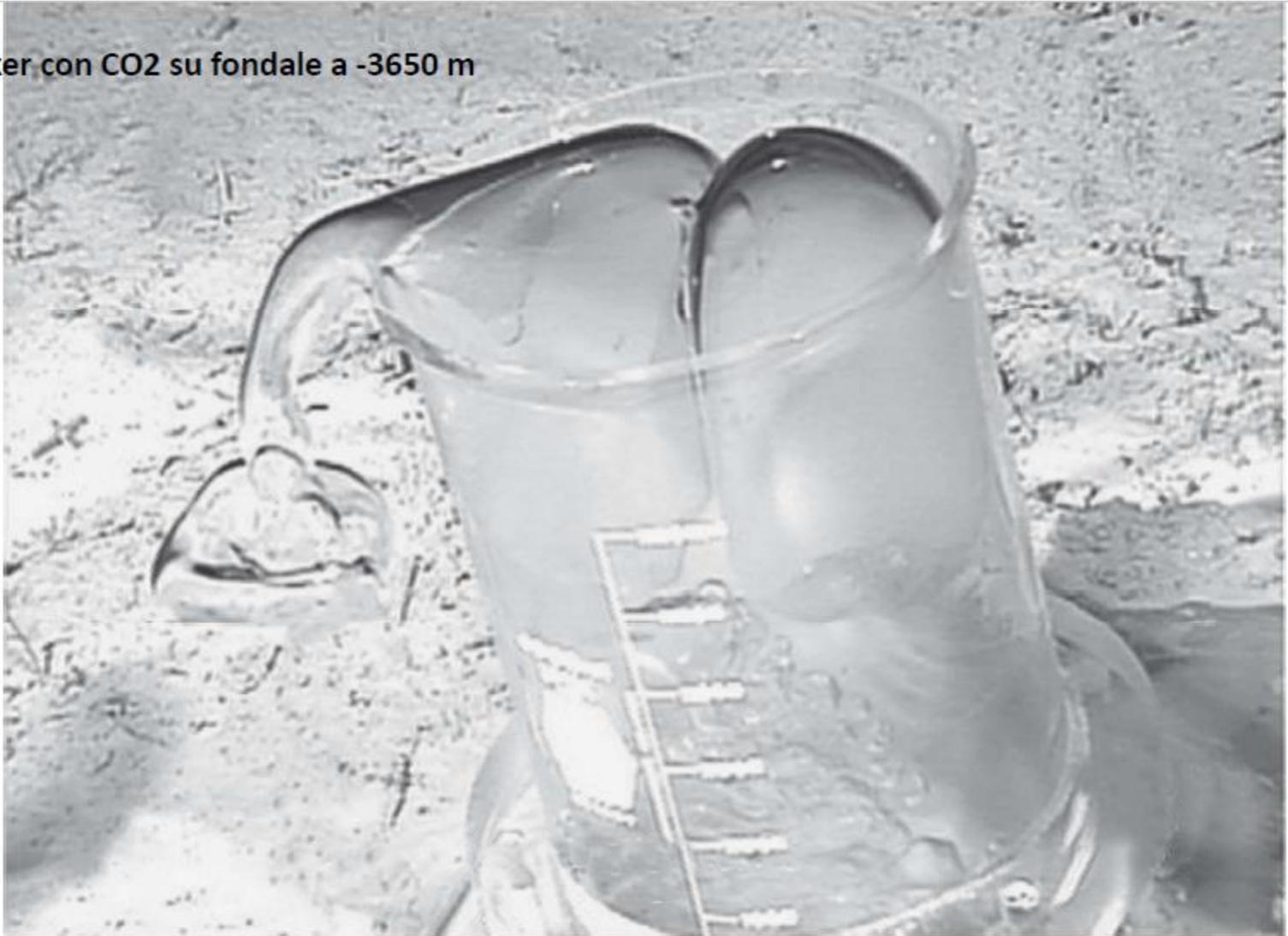
## Scarico diretto nelle profondità oceaniche (?!)

Profondità media oceano 3800 metri, copertura 70% superficie terrestre: enorme potenziale di stoccaggio (a 2700 m CO<sub>2</sub> più denso di acqua e scenderebbe ulteriormente). A profondità >500m gas liquefatto, a T<9°C si forma clatrato idrato (CO<sub>2</sub> 6H<sub>2</sub>O) più denso che affonderebbe. Serve tubatura che scenda fino a 3000-5000m)

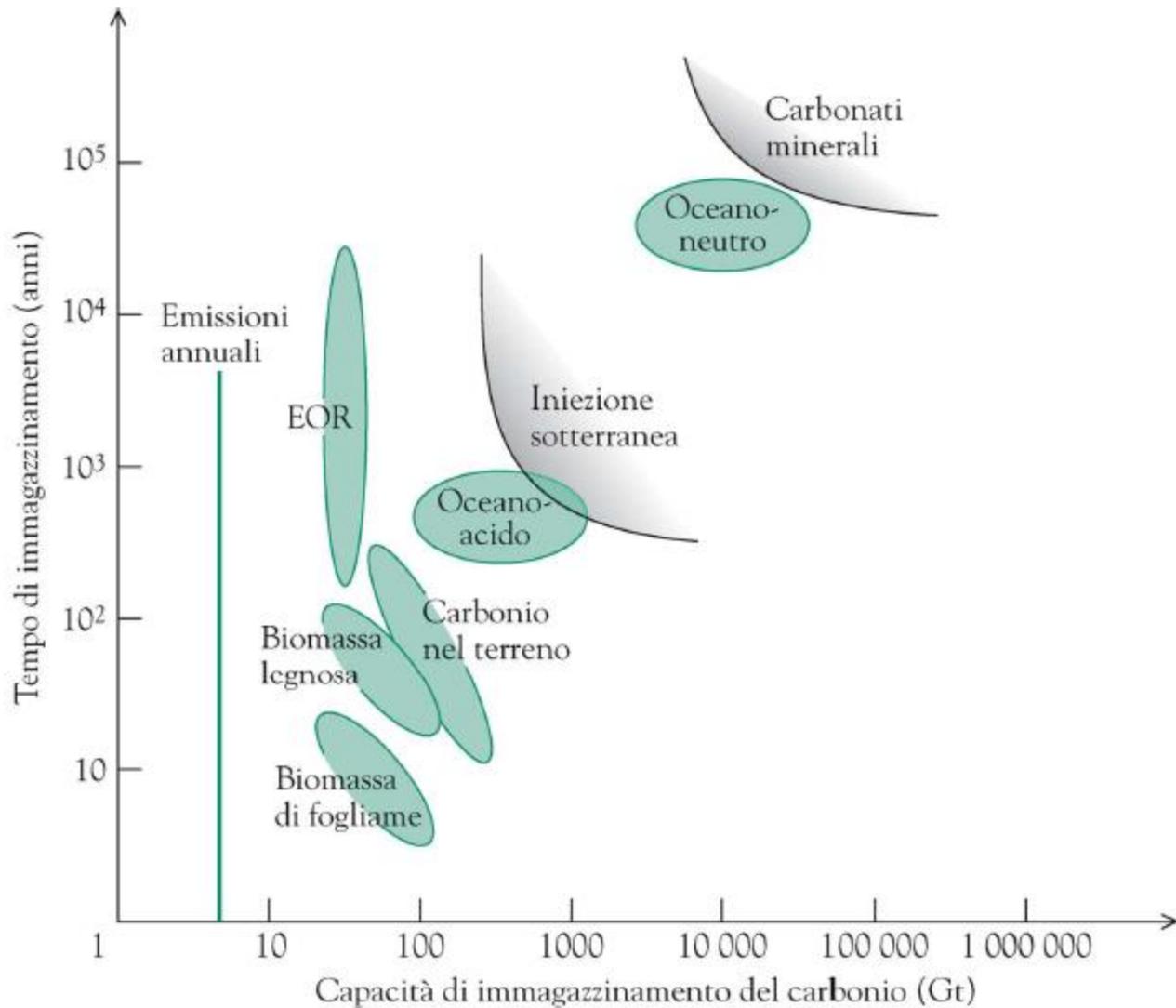


**Vita marina sotto CO<sub>2</sub> sarebbe sterminata; terremoti?**

Beaker con CO2 su fondale a -3650 m



$\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2(\text{aq})$  bicarbonato, che rimane disciolto



Capacità e tempo di immagazzinamento di varie tecnologie di sequestro della CO<sub>2</sub>