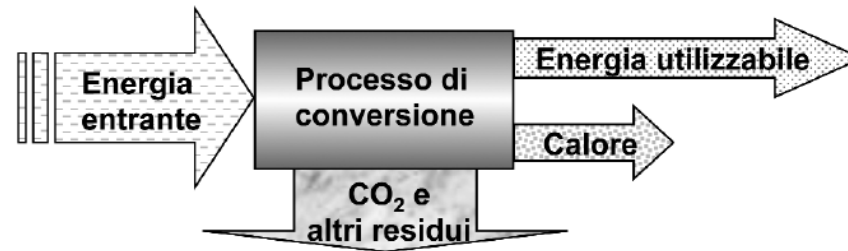


USO DELL'ENERGIA, COMBUSTIBILI FOSSILI, EMISSIONI DI CO₂

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. **Fonti di energia secondaria** sono l'energia elettrica, la benzina, il GPL, l'idrogeno.

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

Criteri 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.

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

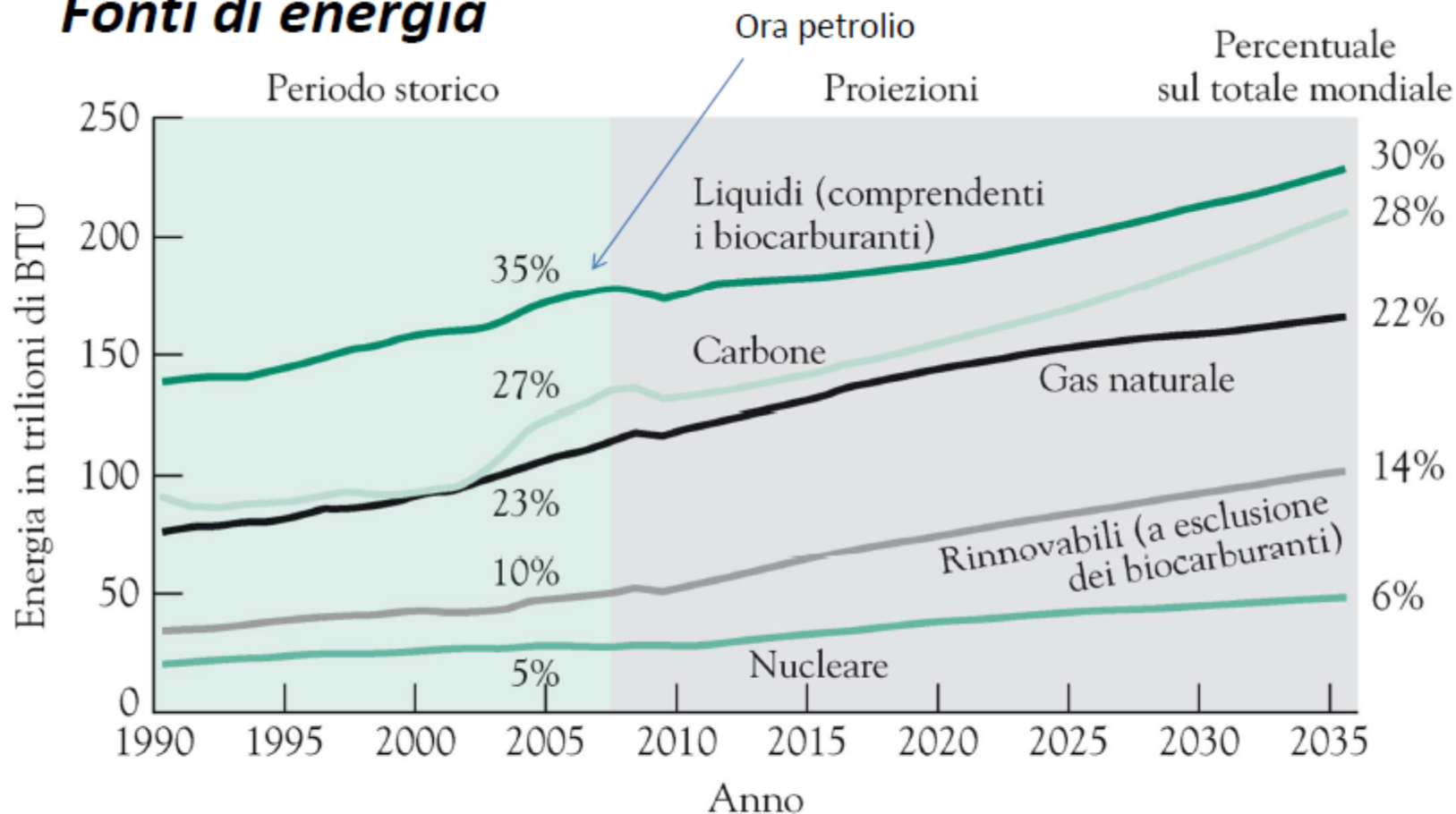
Estratto da «Energia e Salute della Terra» di Giulio De Leo, Giorgio Guariso e Giulia Fiorese

Fondazione Boroli, 2009 <http://www.fondazioneaegboroli.it/images/pdf/energia-salute-terra/energia.pdf>

<https://mercati.ilsole24ore.com/materie-primе/commodities/petrolio/BRNST.IPE>

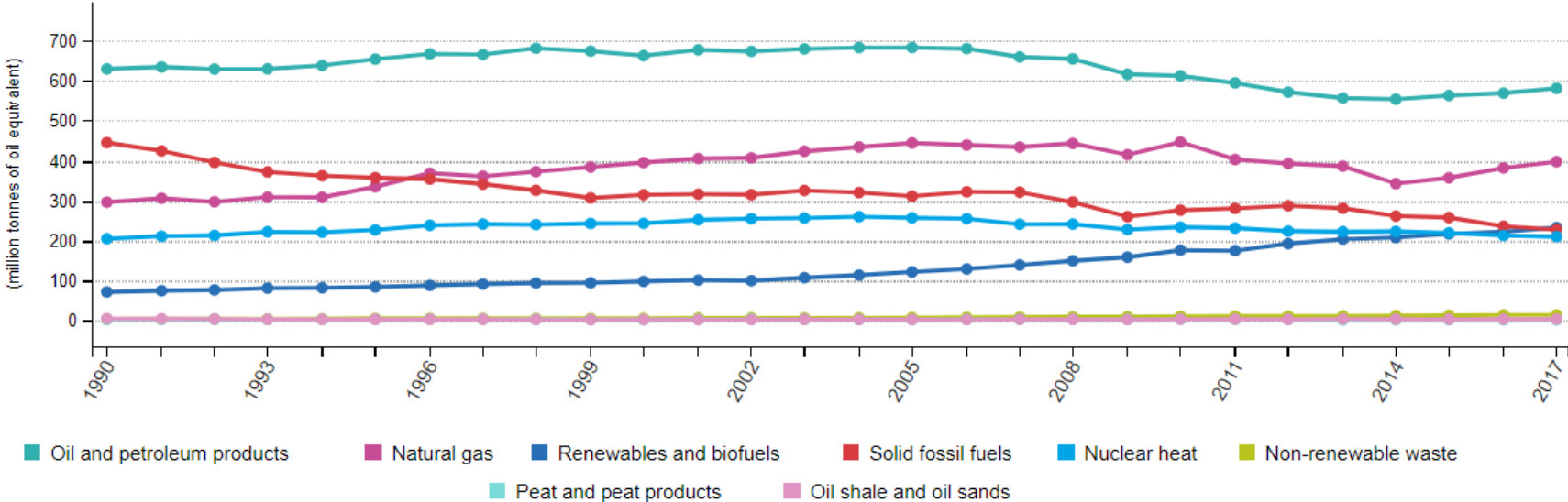


Fonti di energia



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).

Gross inland energy consumption by fuel, EU-28, 1990-2017



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)

Tecnologia	EROI
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.

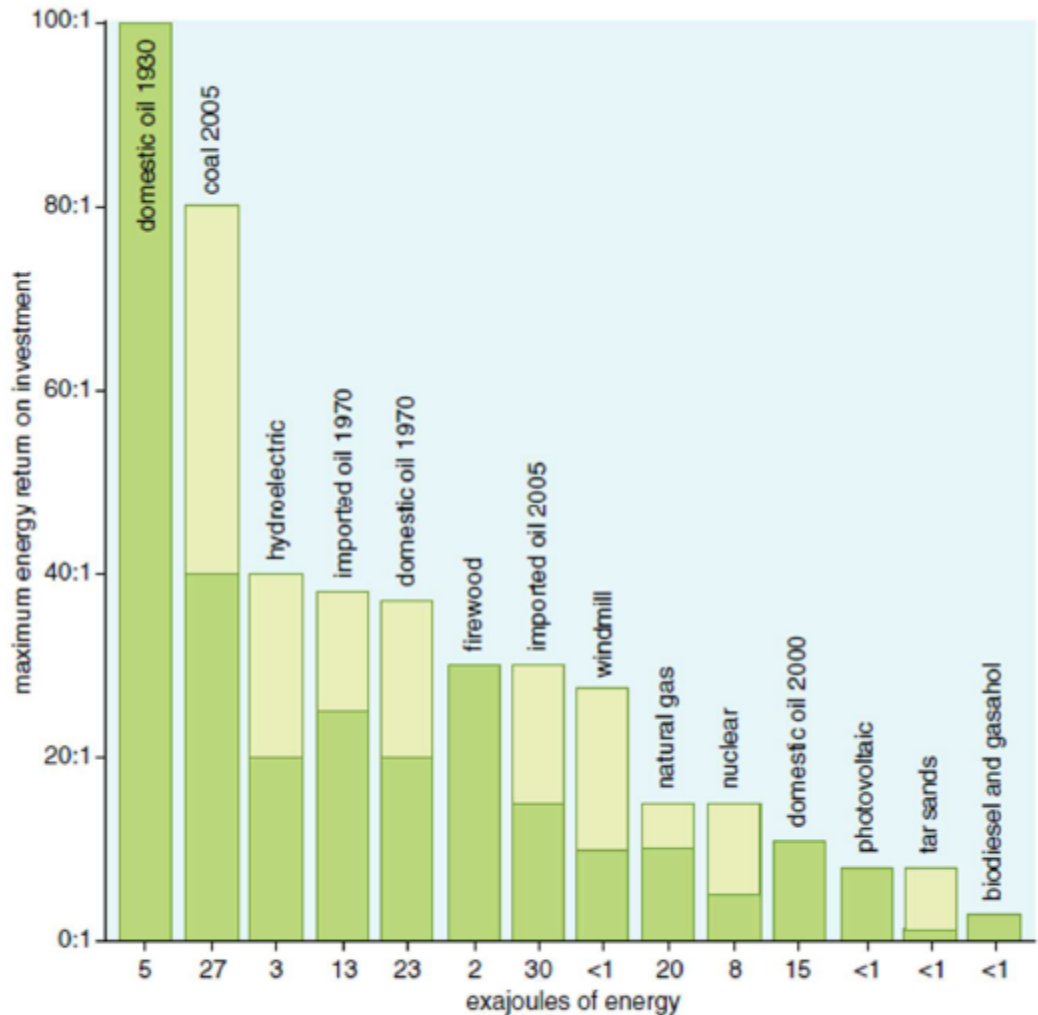


Figure 10. The energy return on investment (EROI) is the energy cost of acquiring an energy resource; one of the objectives is to get out far more than you put in. Domestic oil production's EROI has decreased from about 100:1 in 1930, to 40:1 in 1970, to about 14:1 today. The EROI of most "green" energy 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

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).

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°).

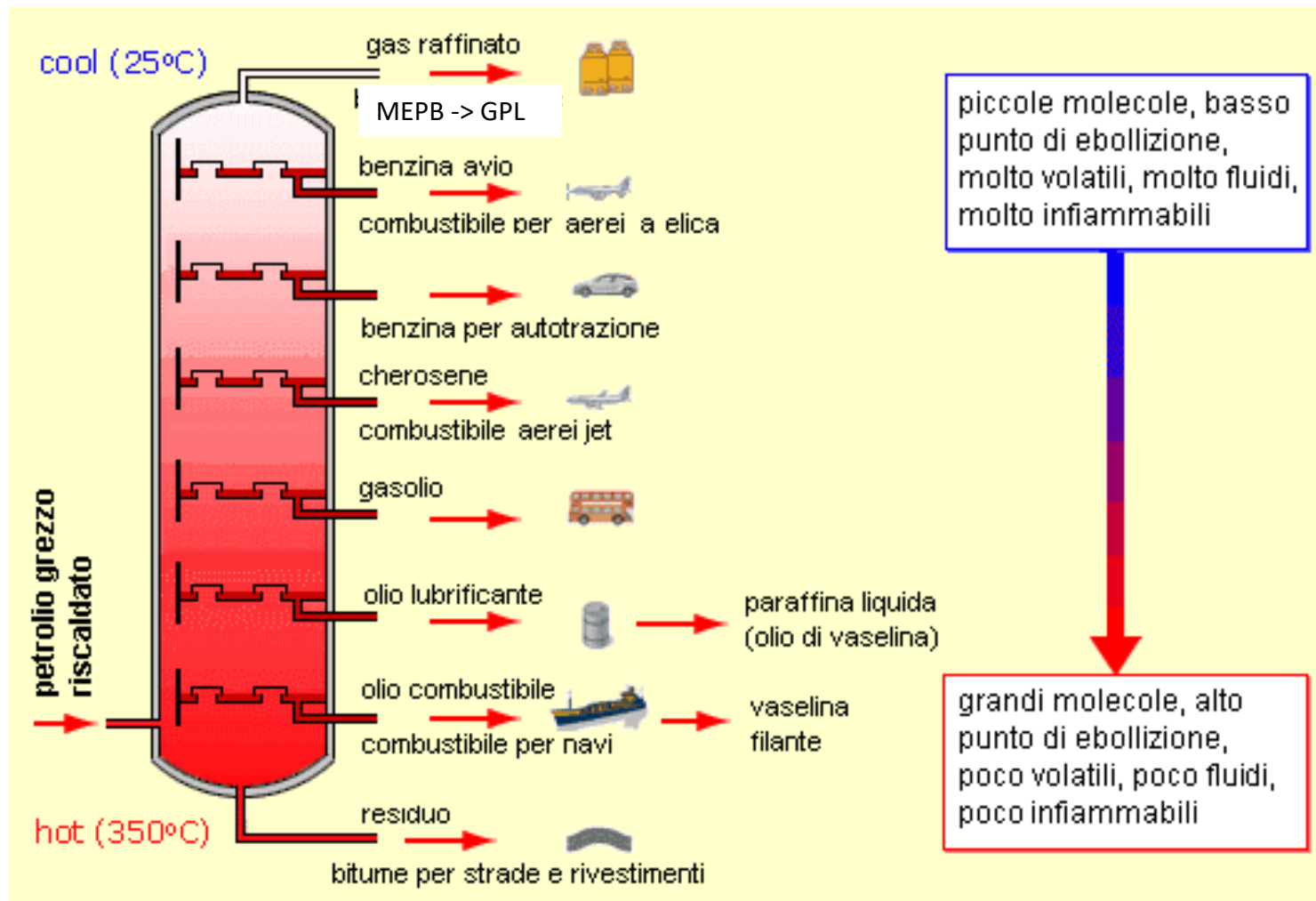
$$^{\circ}\text{API} = 141,5/\rho^* - 131,3 \quad \text{dove } \rho^* \text{ è la densità relativa rispetto all'acqua.}$$

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 ₆ paraffins	1,41	Vanadium (ppm)	0,3
		C ₈ naphthenes	0,90	Total Nitrogen (ppm)	1197
		benzene	0,09	Total Acid Number (mgKOH/g)	0,34
		C ₇ paraffins	1,34	Mercaptan Sulphur (ppm)	10
		C ₇ naphthenes	1,69	Hydrogen Sulphide (ppm)	-
		toluene	0,42	Reid Vapour Pressure (psi)	2,7

Cut Data			
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
	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

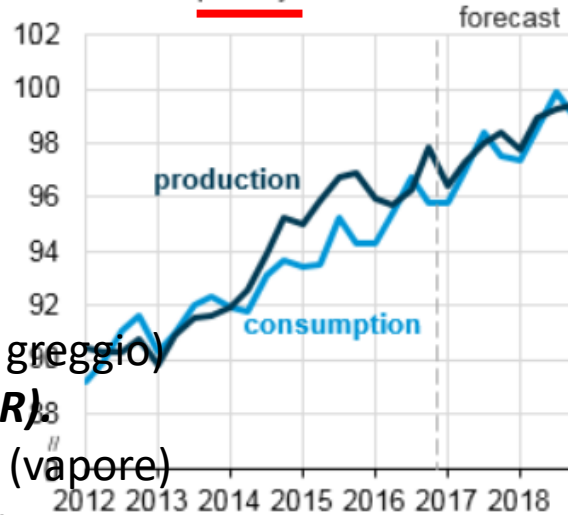
(polimeri e tensioattivi),

gas (CO₂) !!!

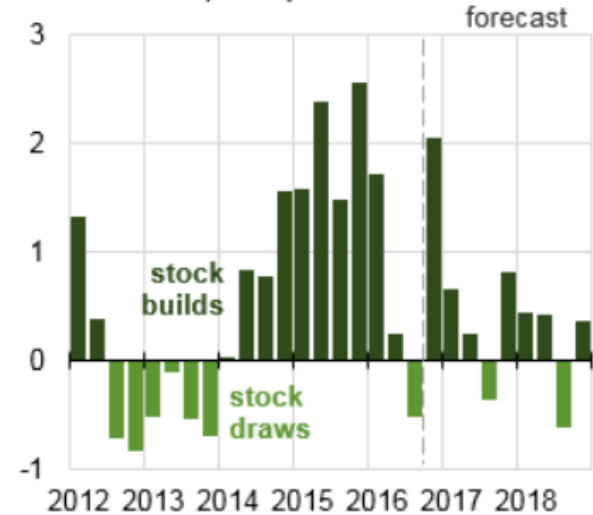
JANUARY 25, 2017

Global crude oil balances expected to tighten through 2018

World liquid fuels production and consumption balance
million barrels per day

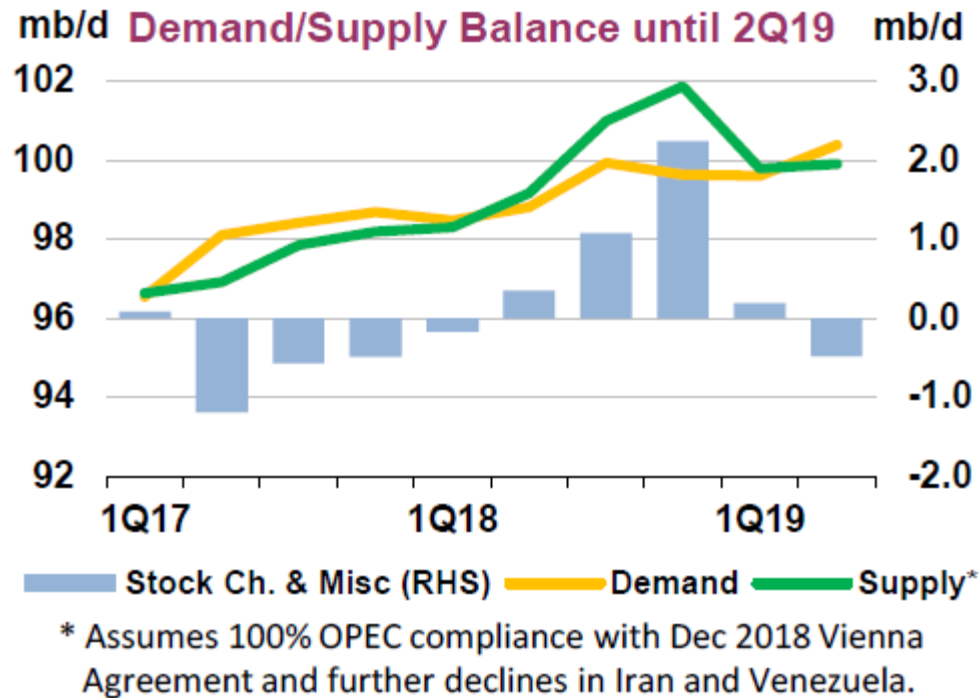


Global crude oil stock changes
million barrels per day



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 (organizzazione intergovernativa autonoma, nel quadro dell'OCSE)

Mar 14, 2019,

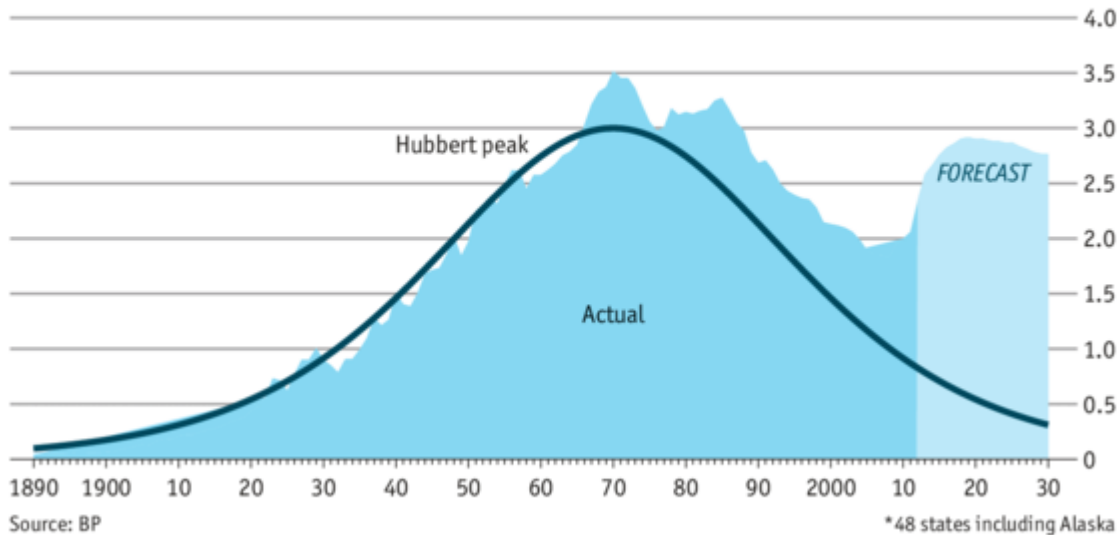
<https://oilprice.com/Energy/Energy-General/Was-2018-The-Peak-For-Crude-Oil-Production.html>

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

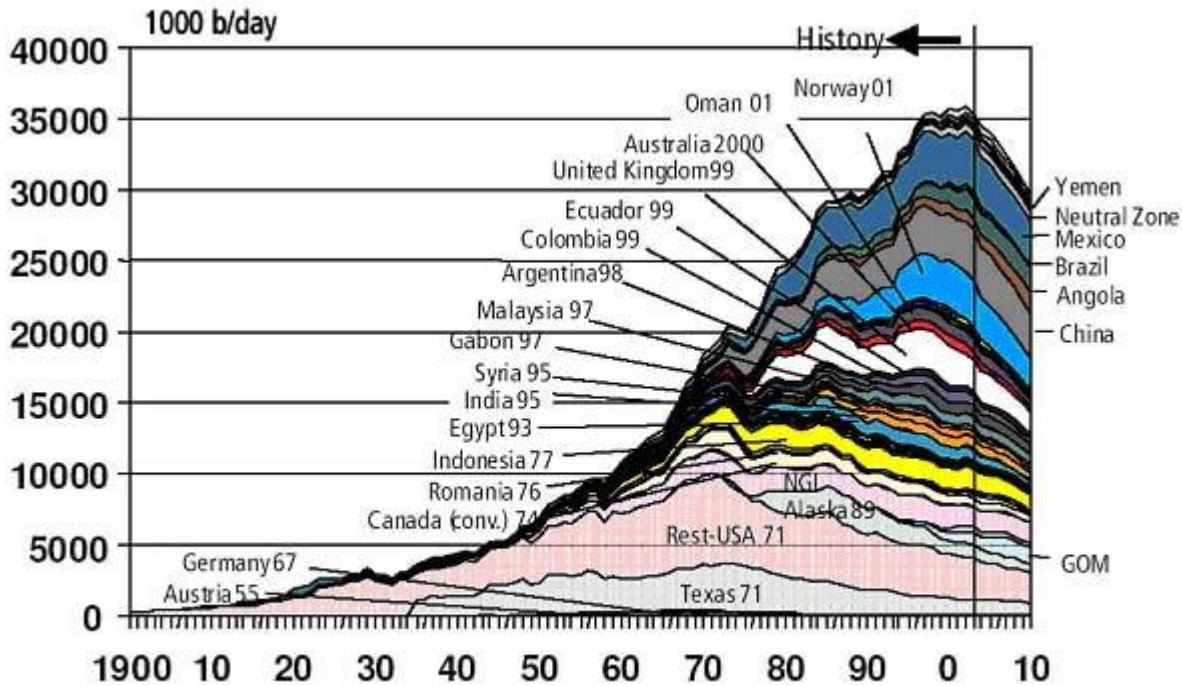
<https://www.economist.com/blogs/graphicdetail/2013/03/focus-0>

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)
 OGI, 9 Feb 2004 (Jan-Nov 2003)

Mar 14, 2019,

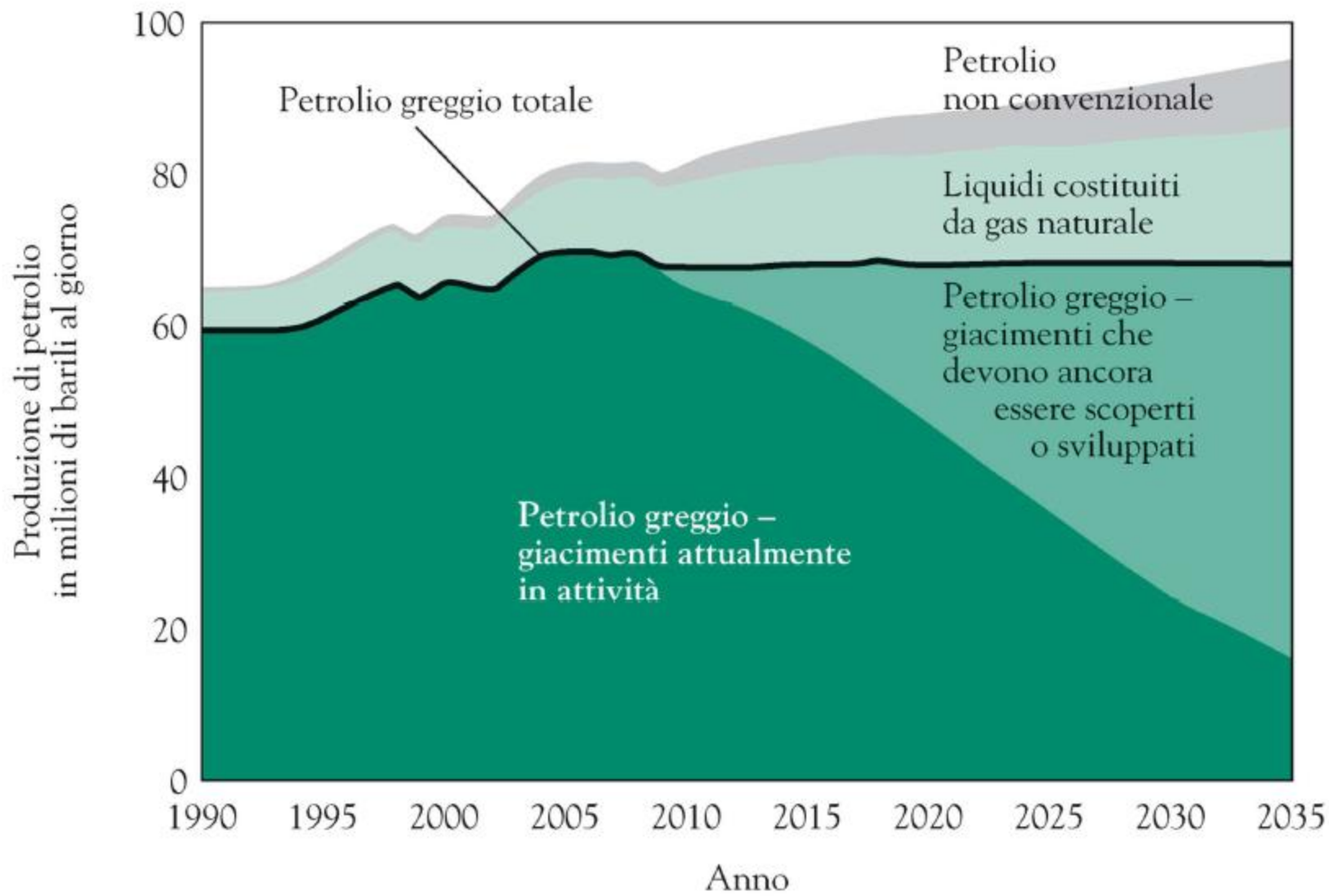
<https://oilprice.com/Energy/Energy-General/Was-2018-The-Peak-For-Crude-Oil-Production.html>

12 Marzo 2019

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

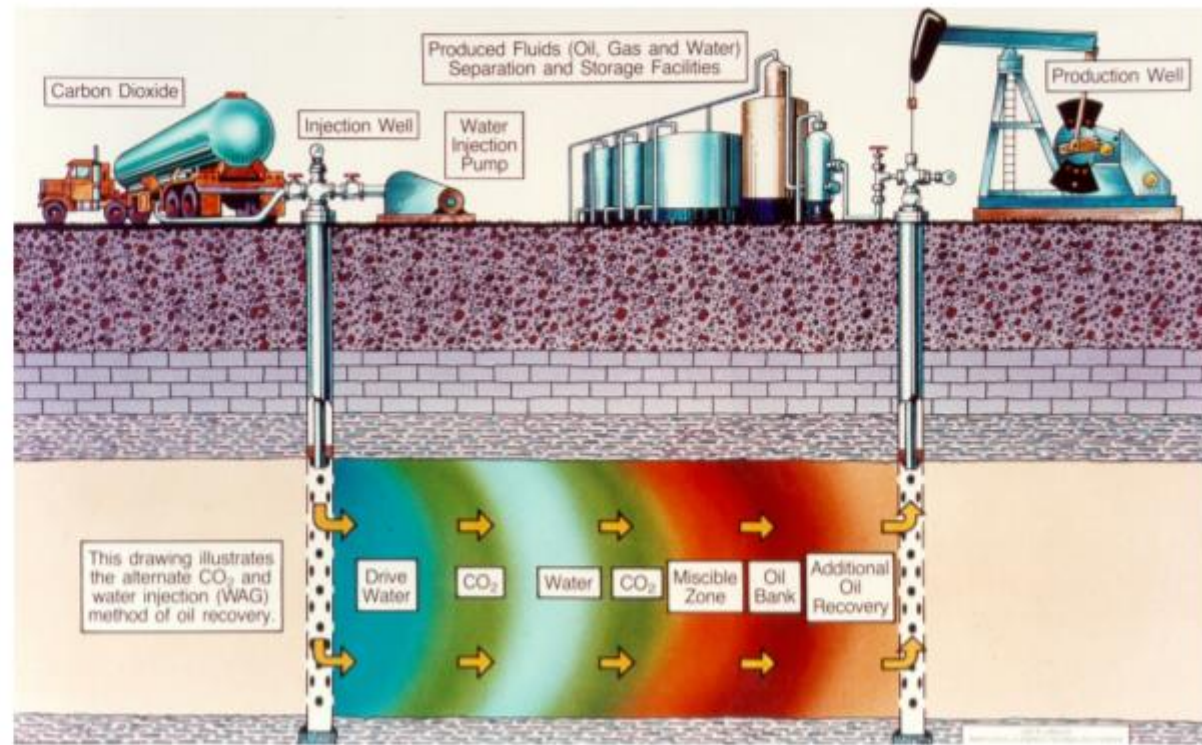
EXECUTIVE SUMMARY The peaking of world oil production presents the U.S. and the world with an unprecedented risk management problem. **As peaking is approached, liquid fuel prices and price volatility will increase dramatically, and, without timely mitigation, the economic, social, and political costs 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 CO₂-EOR
Si sequestra CO₂ 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 (nell'Alberta riserve di idrocarburi (molti IPA) > che in Arabia, ma EROI non vantaggioso)

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

Consumi d'acqua enormi per l'estrazione

Sabbie bituminose dell'Alberta

10% bitume (idrocarburi ricchi di IPA) sabbia e acqua; 140 000 km², giacimenti a 75 m (spessore 50 m)... risorse recuperabili giacciono at-

tualmente al di sotto di 8000 km² di terreno, dai quali sono stati eliminati oltre 600 km² di foresta e acquitrini nell'Alberta settentrionale per creare le odierne miniere.

Per produrre 1 barile di petrolio sono necessari circa 2 tonnellate di questa miscela simile ad asfalto e almeno 2 barili di acqua. Inoltre per separare il petrolio dalle sabbie e per rompere le molecole di idrocarburi a lunga catena del catrame in molecole più corte utilizzabili per ottenerne benzina deve essere consumata energia prodotta dalla combustione di gas naturale. Poiché gli IPA condensati sono poveri di idrogeno, occorre liberare H₂ gassoso dal gas naturale per la loro idrogenazione al fine di ottenere un idrocarburo con un rapporto fra C e H simile a quello del petrolio, cioè approssimativamente di 2:1 (vedi la discussione di questi processi nel Capitolo 7, Paragrafo 7.18). Dopo che in questo modo si è prodotto del petrolio pesante, quest'ultimo deve essere raffinato per rimuoverne lo zolfo (fino al 4%) e convertire gli idrocarburi in frazioni utilizzabili, come discusso per il petrolio greggio nel Paragrafo 6.7 e nella Scheda 6.2.

Circa metà dell'attuale produzione avviene in miniere a cielo aperto su larga scala posizionate su riserve poco profonde. Il bitume frantumato viene separato dalla sabbia riscaldandolo con un volume superiore di alcune volte di acqua calda (alla temperatura di 50-80 °C), a sua volta riscaldata bruciando gas naturale e quindi con l'emissione di elevate quantità di biossido di carbonio. L'altra metà della produzione utilizza un processo sotterraneo *in situ* che per estrarre il bitume lo mischia a vapore che

1 barile di
petrolio 159
litri



"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**.

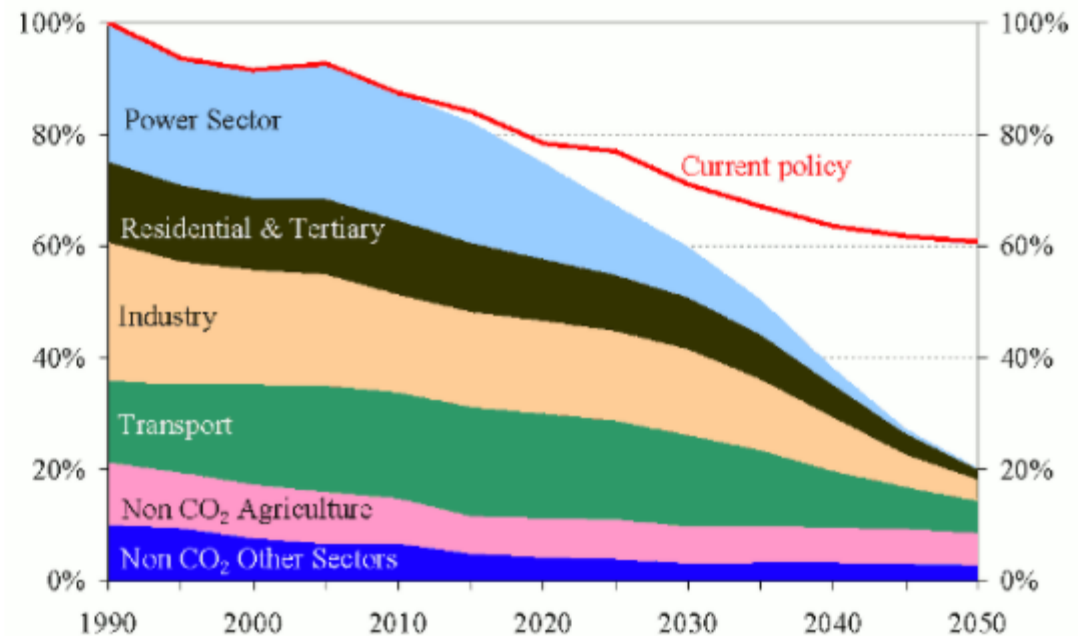
Action in all **main sectors** responsible for Europe's emissions – power generation, industry, transport, buildings, construction and agriculture – will be needed, but differences exist between sectors on the amount of reductions that can be expected.

Power generation & distribution

The power sector has the biggest potential for cutting emissions. It can **almost totally** eliminate CO₂ 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**.



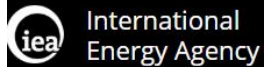
Possible 80% cut in greenhouse gas emissions in the EU (100%=1990)

Il sequestro di CO₂

CO₂ 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 CO₂. CO₂(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, CO₂ 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.

https://www.iea.org/topics/carbon-capture-and-storage/



International
Energy Agency

[About](#)

[News & Events](#)

[Publications](#)

[Our Work](#)

[Countries](#)

[Statistics & Data](#)



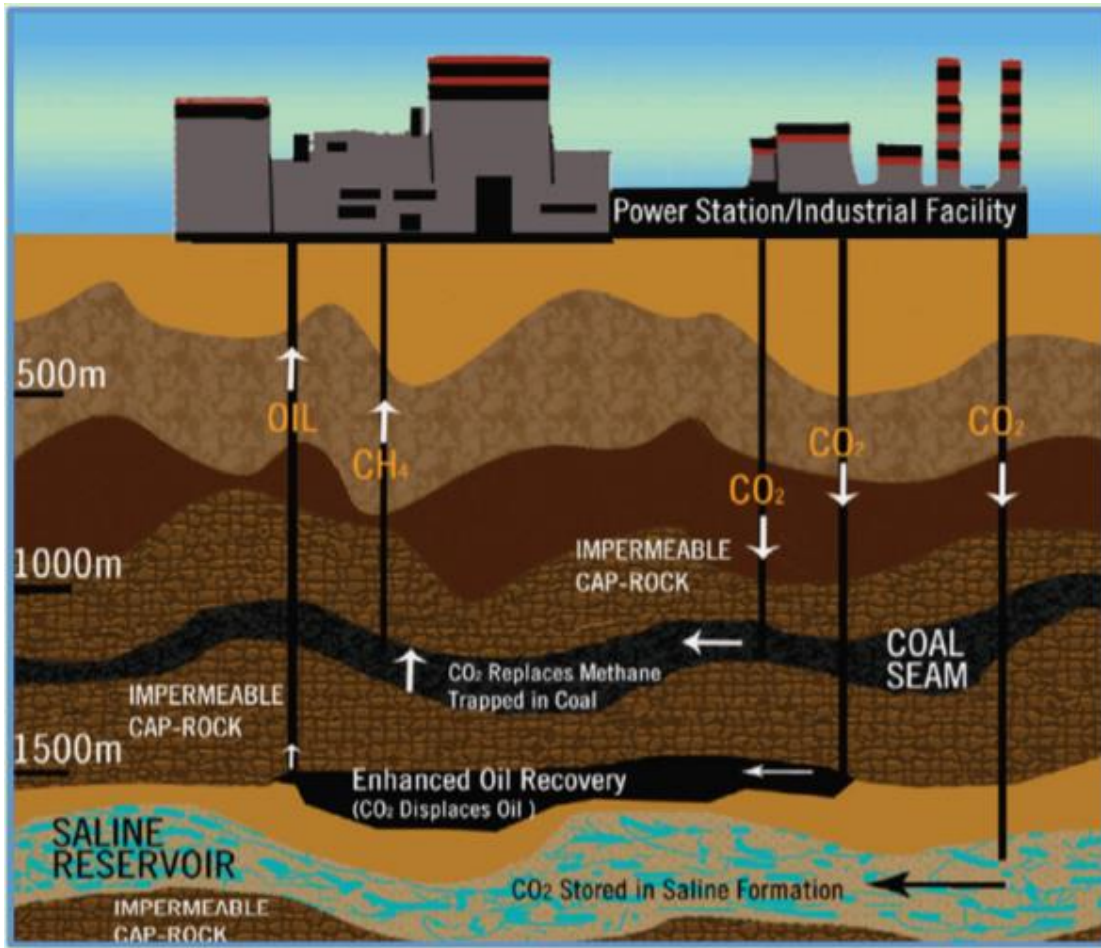
[Home](#) » [Topics](#) » [Carbon capture, utilisation and storage](#)

Carbon capture, utilisation and storage

A critical tool in the climate energy toolbox

Carbon, capture utilisation and storage (CCUS) is one of the only technology solutions that can significantly reduce emissions from coal and gas power generation and deliver the deep emissions reductions needed across key industrial processes such as steel, cement and chemicals manufacturing, all of which will remain vital building blocks of modern society.

Recupero da grandi centrali di produzione energetica
o da industrie pesanti

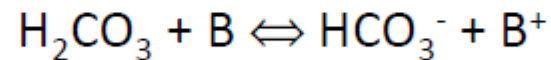


<https://www.cleanwater.org/sites/default/files/docs/publications/Environmental%20Risks%20and%20Oversight%20of%20Enhanced%20Oil%20Recovery%2011.08.17a.pdf>

Cattura reversibile del CO2

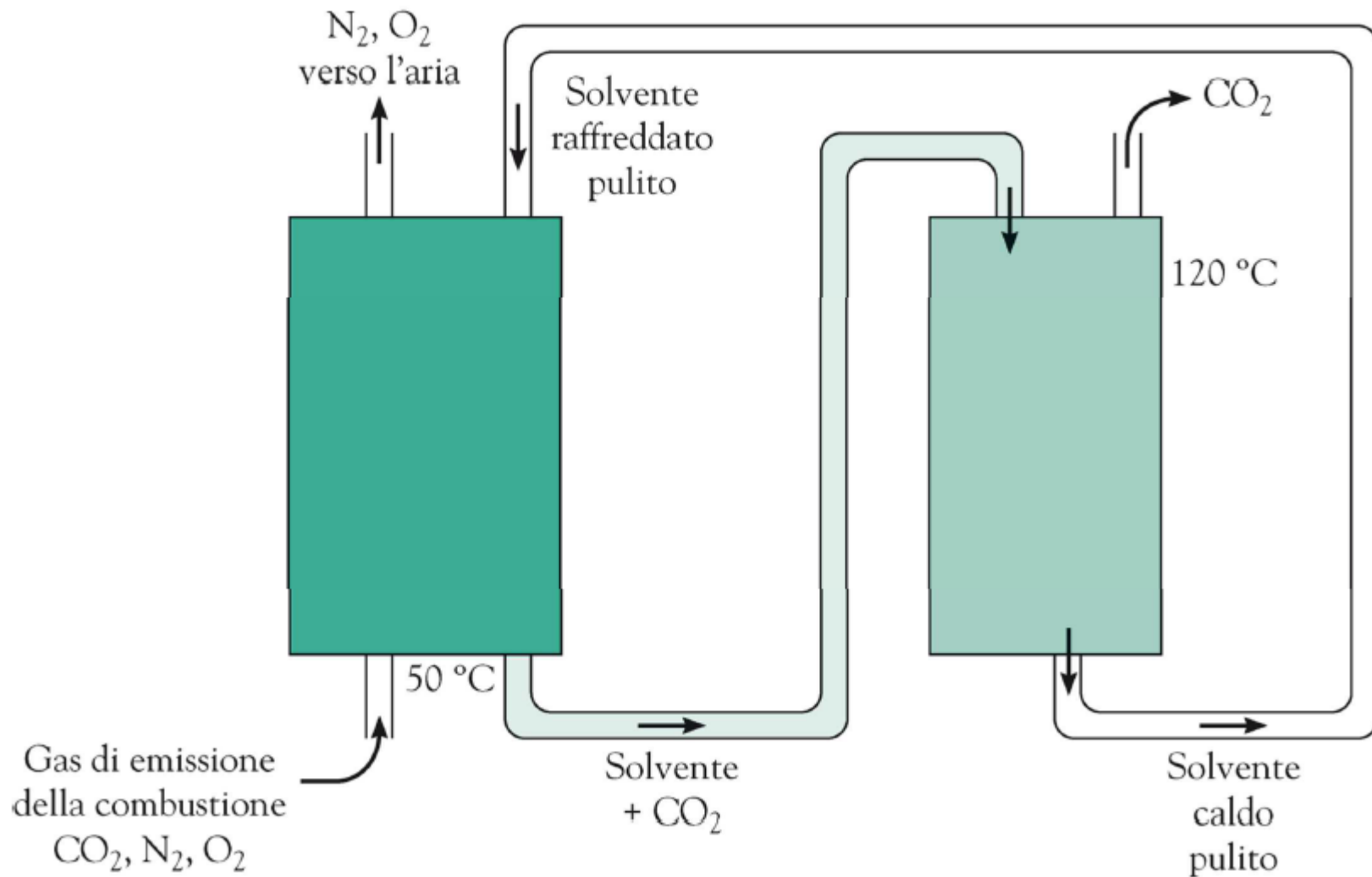
Si usa un agente che rimuova selettivamente il CO2 (sostanza che coordina debolmente e selettivamente CO2); Serve che agente di cattura sia riciclabile (es. riscaldando o diminuendo pressione)

CO2 è anidride acida, reagisce con acqua \rightarrow H₂CO₃, 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 (RNH₂ o R₂NH), basi deboli che si combinano con CO₂:



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) ~

Monoetanolammina: OH-CH₂-CH₂-NH₂



Per evitare necessità di isolare e concentrare CO₂ -> **ossicombustione** (O₂ (spesa energetica !?!) invece di aria)

IMMAGAZINAMENTO DI CO₂

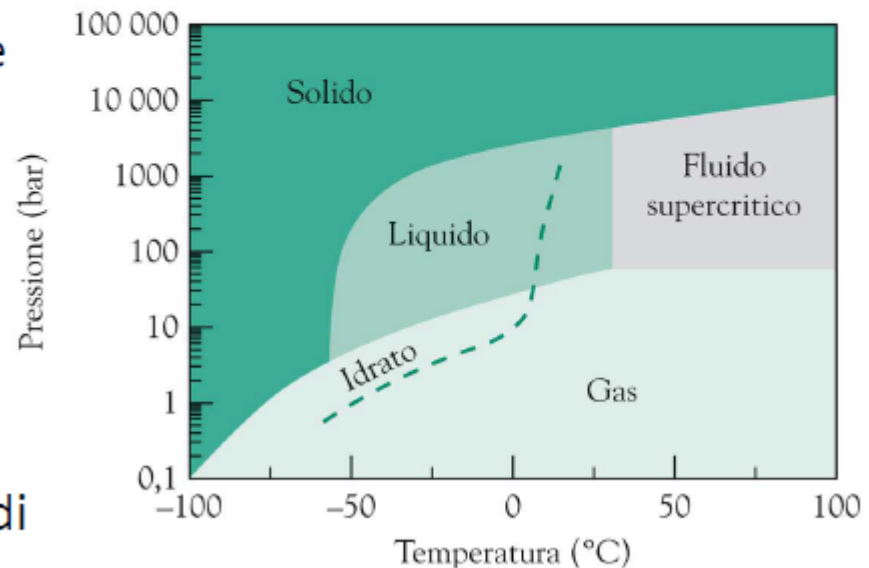
Varie tecniche e siti. Per valutare opzioni consideriamo fasi in cui CO₂ si trova a P e T diverse. Teniamo conto della presenza d'acqua.

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

A pressioni moderatamente alte CO₂ è liquido, a T basse (0±12°C); condizioni «**marine**».

CO₂ diventa supercritico a P>72 atm e T>31°C; condizioni «**in profondità sotto terra**».

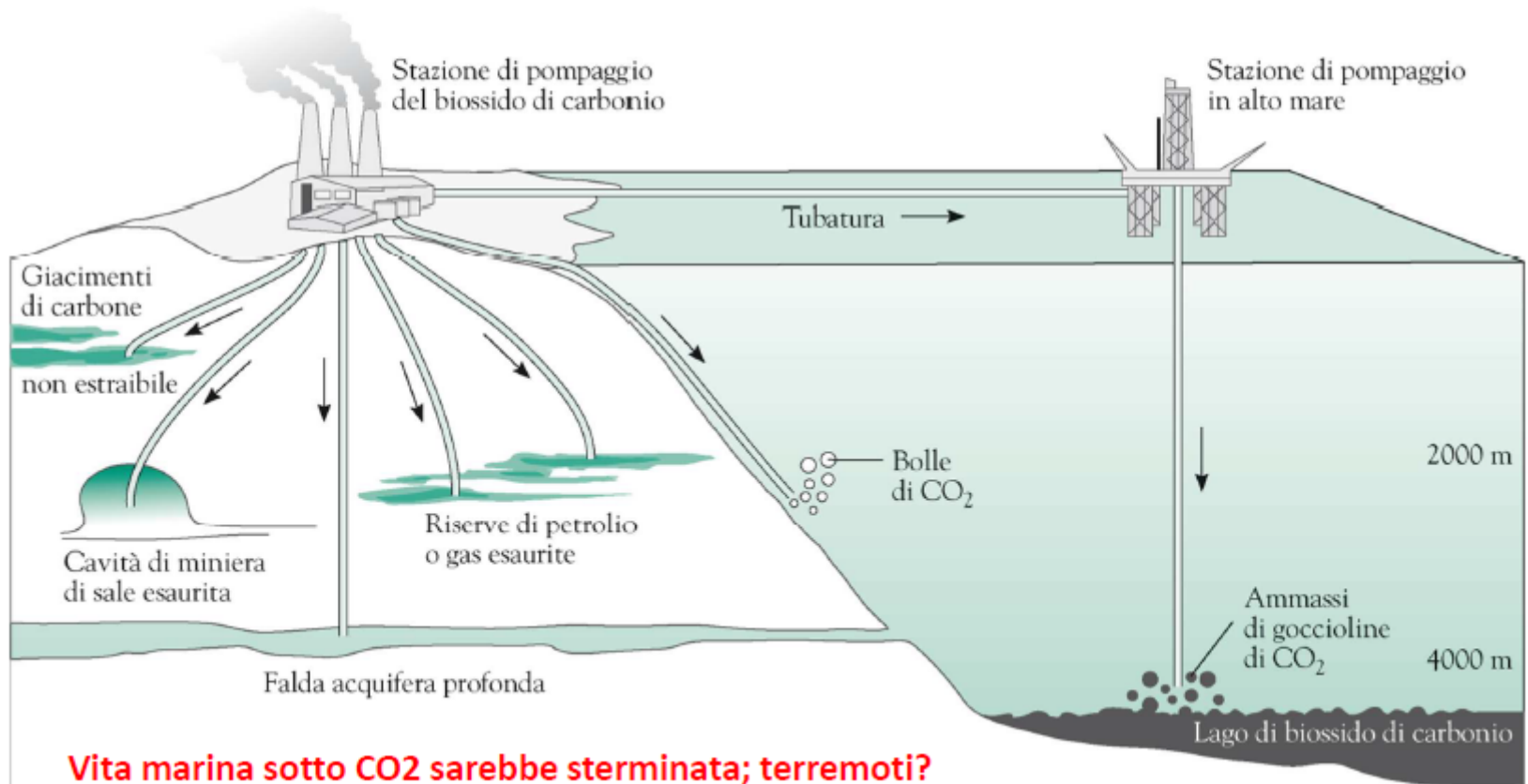
INOLTRE CO₂ più comprimibile di H₂O (P<270 atm CO₂ meno denso di H₂O marina;



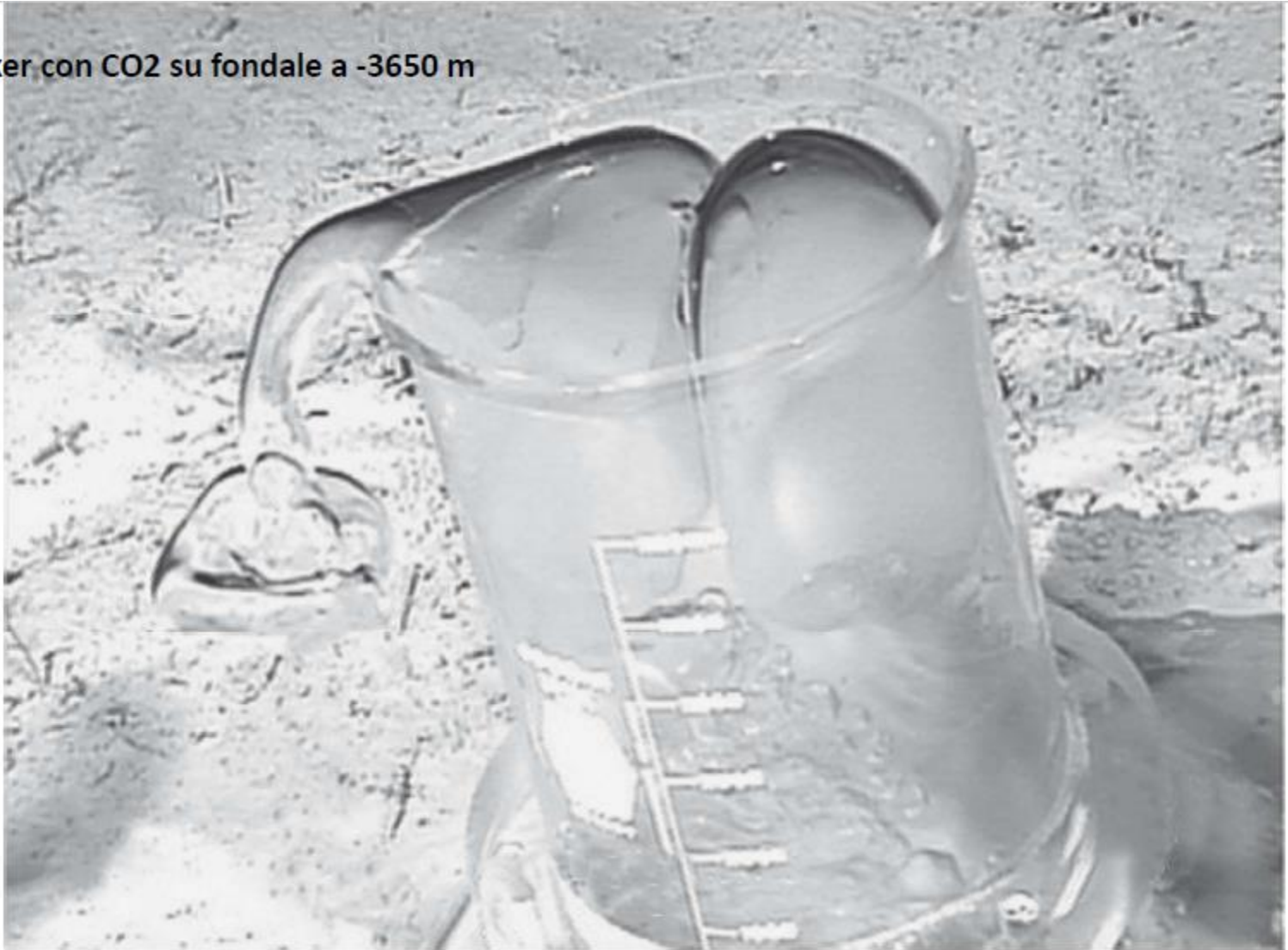
in acqua P aumenta 1 atm ogni 10 m; CO₂ più denso dell'acqua a 2700 m ca.)

Scarico diretto nelle profondità oceaniche (?!)

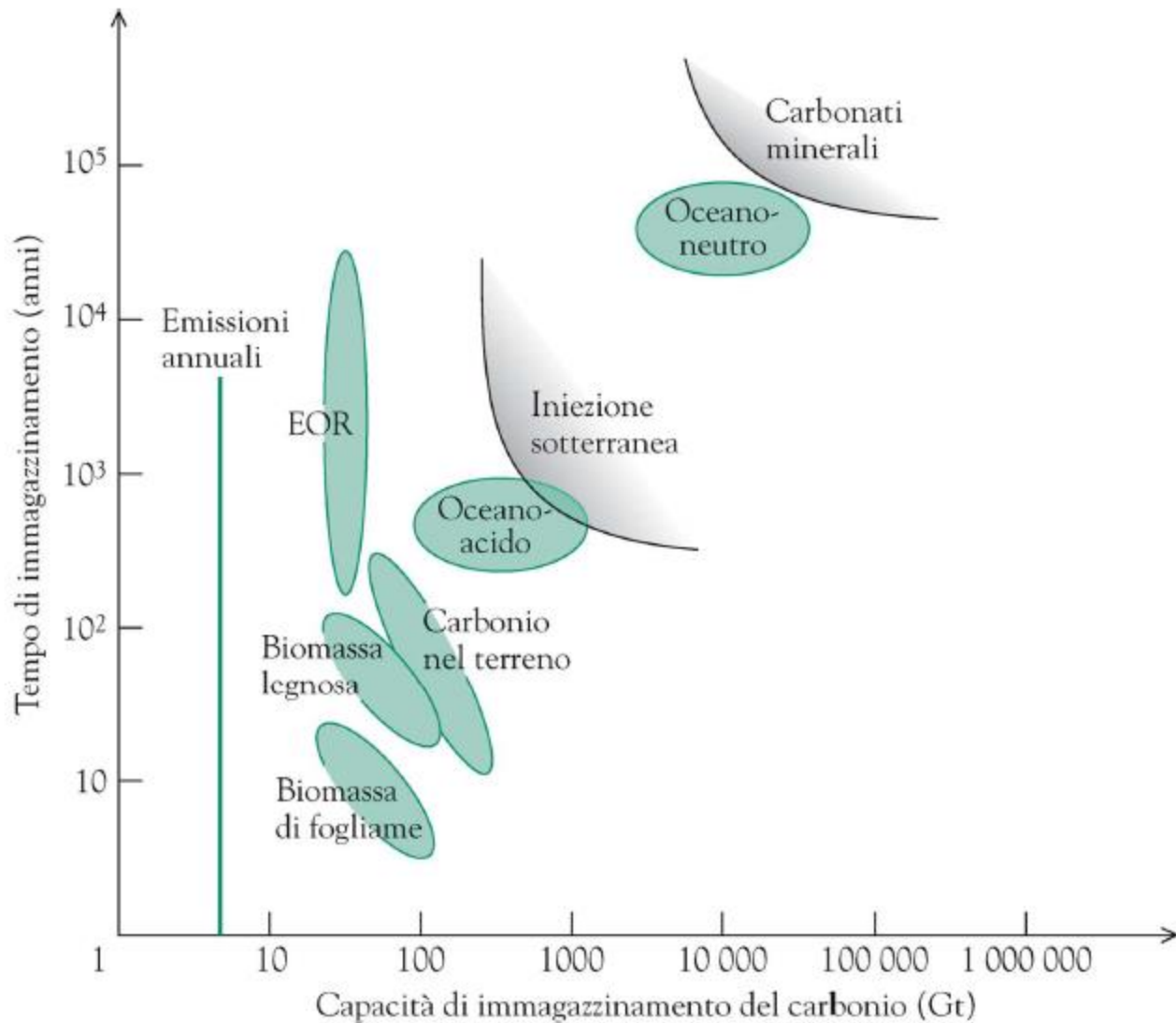
Profondità media oceano 3800 metri, copertura 70% superficie terrestre: enorme potenziale di stoccaggio (a 2700 m CO₂ più denso di acqua e scenderebbe ulteriormente). A profondità >500m gas liquefatto, a T<9°C si forma clatrato idrato (CO₂ 6H₂O) più denso che affonderebbe. Serve tubatura che scenda fino a 3000-5000m)



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 CO₂