

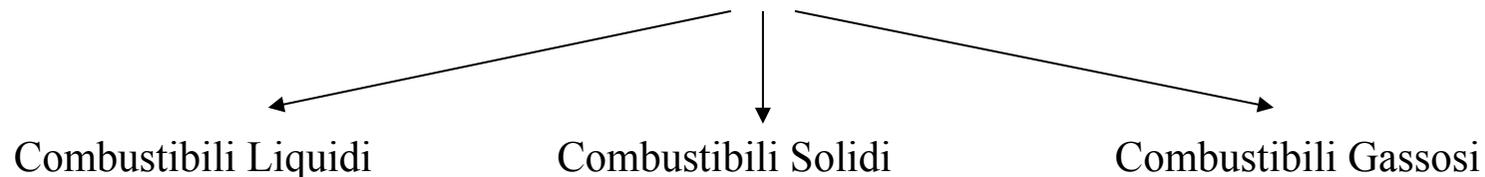
I COMBUSTIBILI

La combustione è una reazione chimica esotermica nella quale il combustibile viene ossidato dal comburente per generare i prodotti della combustione.

Il comburente è l'ossigeno

Il combustibile è in generale carbonio o idrogeno o composto dei due, e zolfo, spesso presente nei combustibili in piccole quantità.

I combustibili, effettuando una prima classificazione in base allo stato d'aggregazione, si possono dividere in:



I COMBUSTIBILI LIQUIDI

I combustibili liquidi prevalentemente usati sono sostanzialmente i derivati petroliferi e, limitatamente, gli alcoli.

Si tratta di idrocarburi classificabili in:

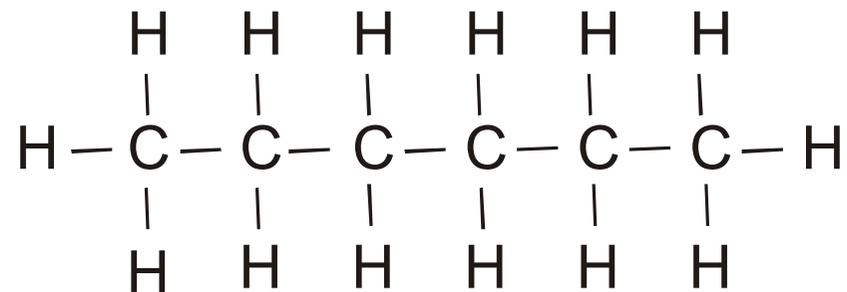
- PARAFFINICI (ALIFATICI)
- ISOPARAFFINICI
- OLEFINICI
- DIOLEFINICI
- NAFTENICI
- AROMATICI

I COMBUSTIBILI LIQUIDI

IDROCARBURI PARAFFINICI (ALIFATICI)

Hanno formula bruta C_nH_{2n+2} (Metano, Etano, Propano, Butano...) e struttura molecolare a catena.

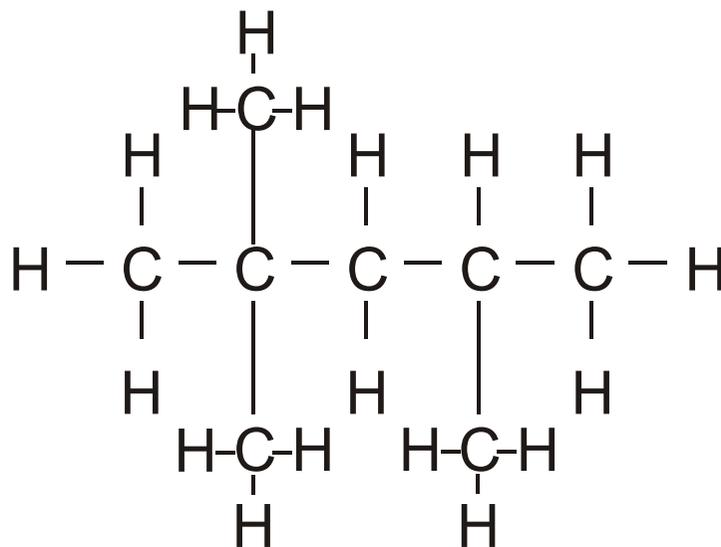
Motoristicamente sono piuttosto scadenti poiché presentano un ritardo all'accensione molto basso, favorendo in tal modo la detonazione.



I COMBUSTIBILI LIQUIDI

IDROCARBURI ISOPARAFFINICI

Hanno formula bruta C_nH_{2n+2} ma struttura molecolare ramificata che contiene gruppi metilici CH_3 .

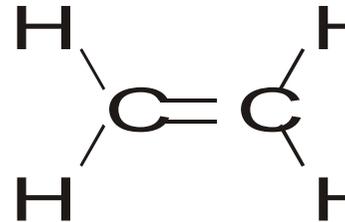


Isotano (2,2,4 trimetil pentano)

I COMBUSTIBILI LIQUIDI

IDROCARBURI OLEFINICI

Hanno formula bruta C_nH_{2n} e presentano un doppio legame nella loro struttura molecolare.



Etene

I COMBUSTIBILI LIQUIDI

IDROCARBURI DIOLEFINICI

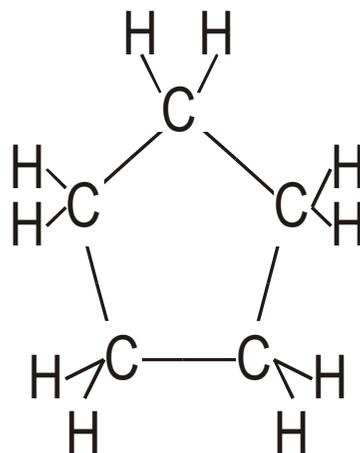
Hanno formula bruta C_nH_{2n-2} e presentano un triplo legame che rende la loro struttura molecolare particolarmente compatta.

Acetilene

I COMBUSTIBILI LIQUIDI

IDROCARBURI NAFTENICI

Hanno formula bruta C_nH_{2n} e hanno struttura ciclica.

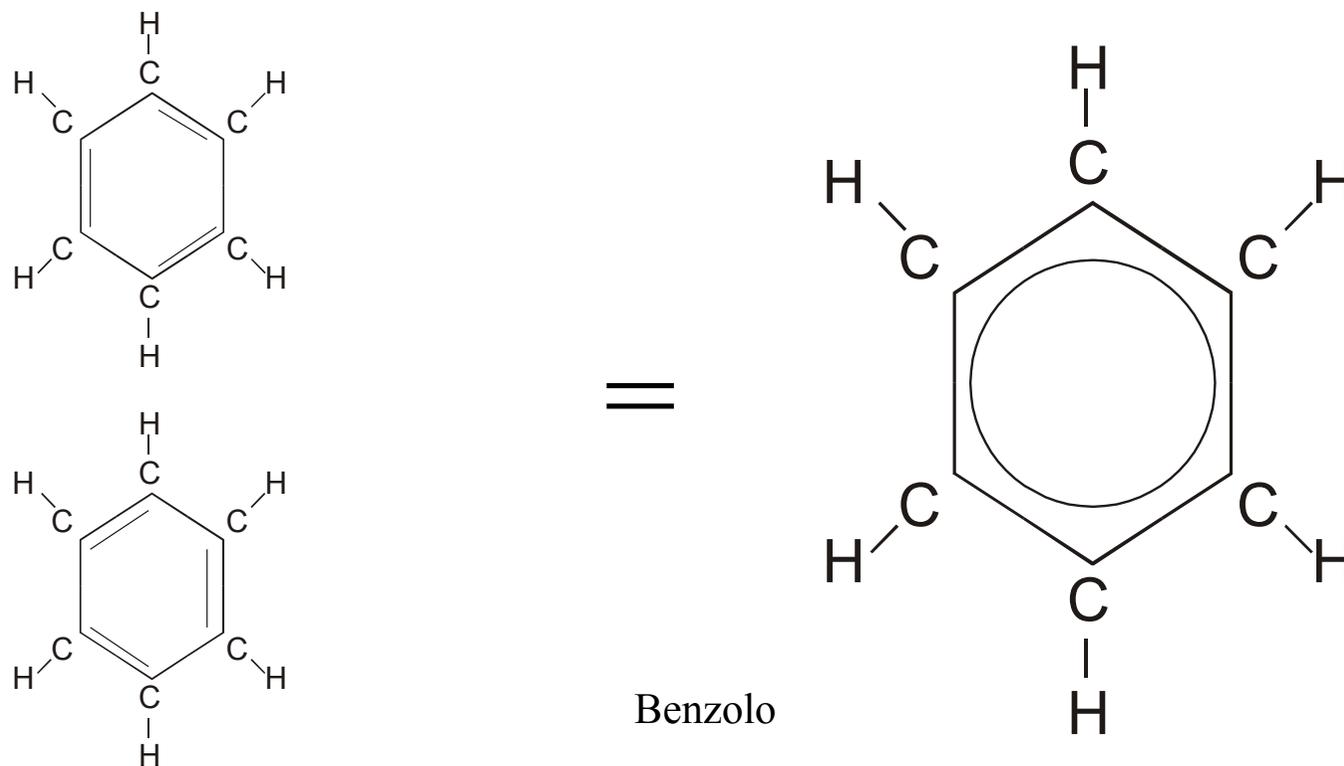


Ciclopentano

I COMBUSTIBILI LIQUIDI

IDROCARBURI AROMATICI

Hanno formula bruta C_nH_n e nucleo esagonale ciclico con legami doppi.



IL PETROLIO

Tutti i componenti liquidi utilizzati negli impianti industriali e civili derivano dal petrolio greggio che è costituito da circa l'83-84% di carbonio, 14% di idrogeno, 2-3% di ossigeno e da basse percentuali di componenti quali zolfo e azoto.

Il petrolio è molto utilizzato perché:

- E' compatibile con i comuni materiali strutturali
- E' di facile trasformazione in energia termica e eventualmente meccanica
- La combustione è economica, semplice, non eccessivamente inquinante e senza scorie solide
- Ha medio-alto potere calorifico (40,000 kJ/kg)
- E' una miscela di molti idrocarburi facilmente separabili e utilizzati nei più diversi campi
- Ha una notevole facilità ed economia di trasporto

IL PETROLIO

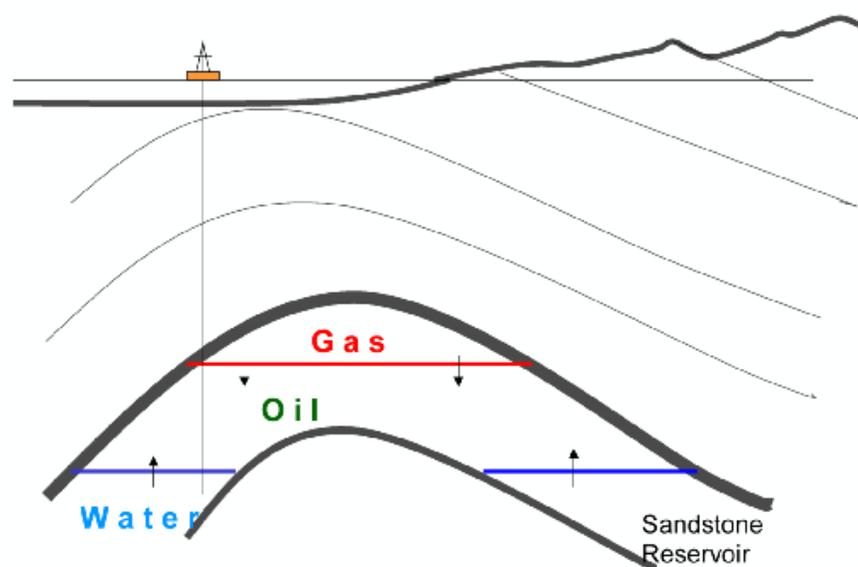
Il petrolio risulta contenuto in giacimenti sotterranei, per il suo sfruttamento risulta quindi necessario:

1. Trovare i giacimenti di petrolio
2. Estrarre, tramite trivellazione, il petrolio
3. Separare l'acqua e il fango contenuti nel petrolio tramite decantazione
4. Trasporto
5. Separazione degli idrocarburi che lo compongono, il petrolio risulta infatti costituito da centinaia di idrocarburi diversi, ciò può essere effettuato attraverso diversi processi:

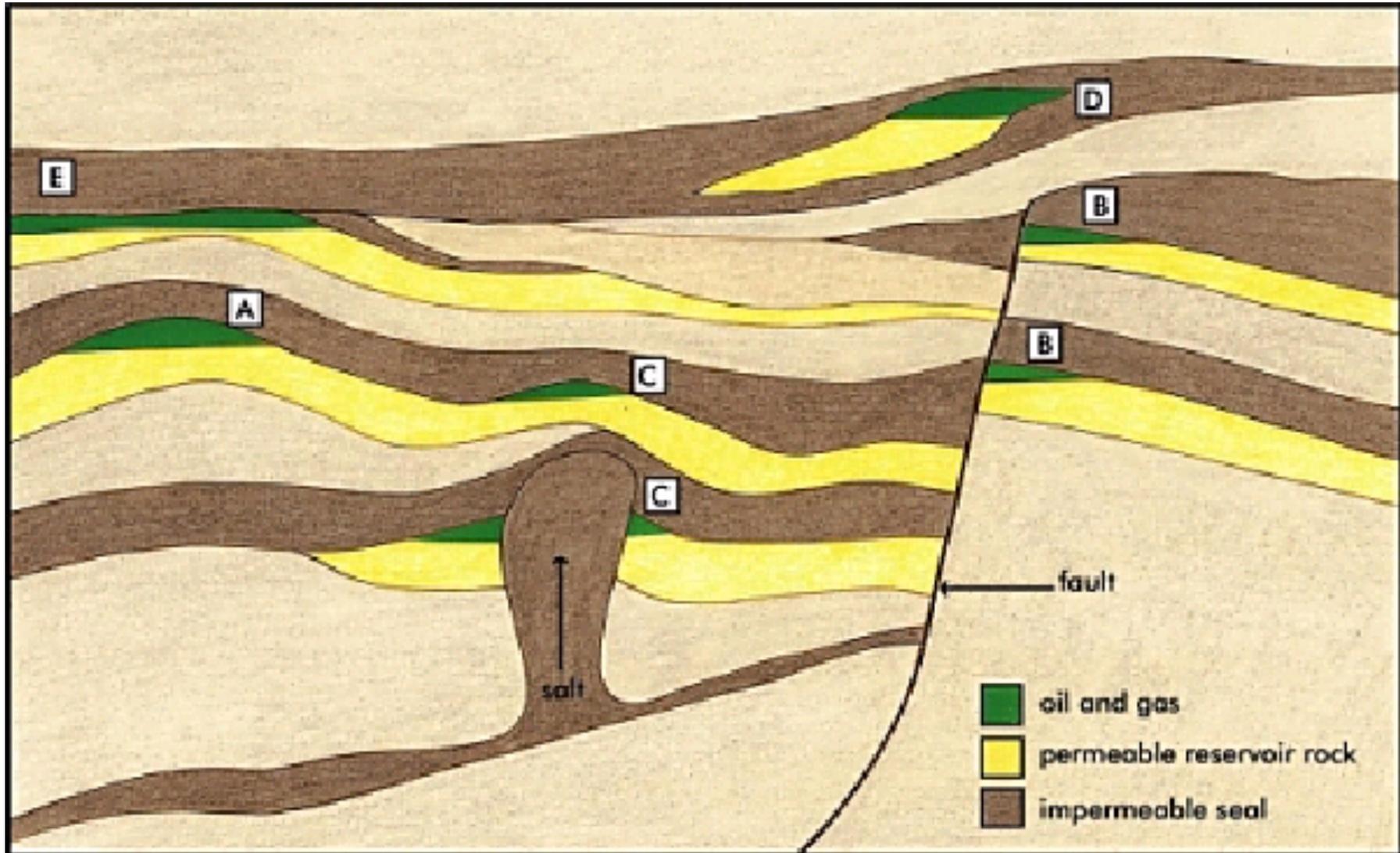
- Vaporizzazione flash
- Distillazione frazionata
- Distillazione sotto pressione
- Distillazione sotto vuoto

IL PETROLIO

Il petrolio deriva dalla trasformazione, durata milioni di anni, di grandi masse di animali e vegetali ed è oggi presente nel sottosuolo in zone dette giacimenti. I giacimenti hanno diverse possibili conformazioni geologiche, possono infatti essere costituite da rocce porose, da caverne o da sacche, contenenti oltre al liquido acqua e gas. L'acqua, generalmente salata, si trova sotto al petrolio mentre il gas, in genere ad alta pressione (10MPa), si trova al di sopra.



IL PETROLIO



IL PETROLIO

ESPLORAZIONE

Per la ricerca dei giacimenti petroliferi sono prevalentemente utilizzati tre metodi:

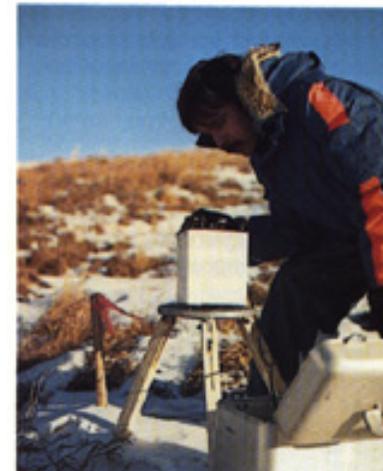
1. Metodo Gravimetrico
2. Metodo Magnetico
3. Metodo Sismico

IL PETROLIO

ESPLORAZIONE

Per la ricerca dei giacimenti petroliferi sono prevalentemente utilizzati tre metodi:

1. **Metodo Gravimetrico**
 - Bilancia di torsione
 - Pendolo
 - Dinamometro
2. Metodo Magnetico
3. Metodo Sismico



Il metodo gravimetrico consiste nel misurare la variazione locale dell'accelerazione di gravità causata dalla variazione della distribuzione di massa nel sottosuolo dovuta alla presenza dei giacimenti petroliferi

IL PETROLIO

ESPLORAZIONE

Per la ricerca dei giacimenti petroliferi sono prevalentemente utilizzati tre metodi:

1. Metodo Gravimetrico
2. **Metodo Magnetico**
 - Bilancia Magnetica – Misurazione del campo magnetico locale
 - Magnetometro aviotrasportato – Misurazione del campo magnetico globale
3. Metodo Sismico

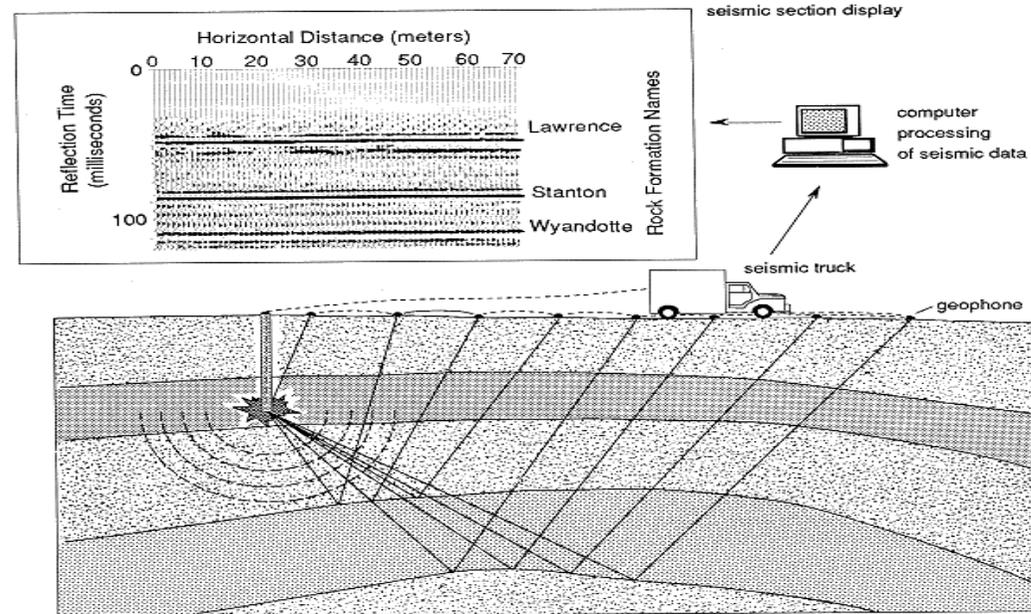
Il metodo magnetico consiste nel misurare la variazione locale del campo magnetico terrestre causata dal differente comportamento magnetico di rocce e petrolio, mentre le rocce risultano infatti magnetiche, il petrolio risulta diamagnetico

IL PETROLIO

ESPLORAZIONE

Per la ricerca dei giacimenti petroliferi sono prevalentemente utilizzati tre metodi:

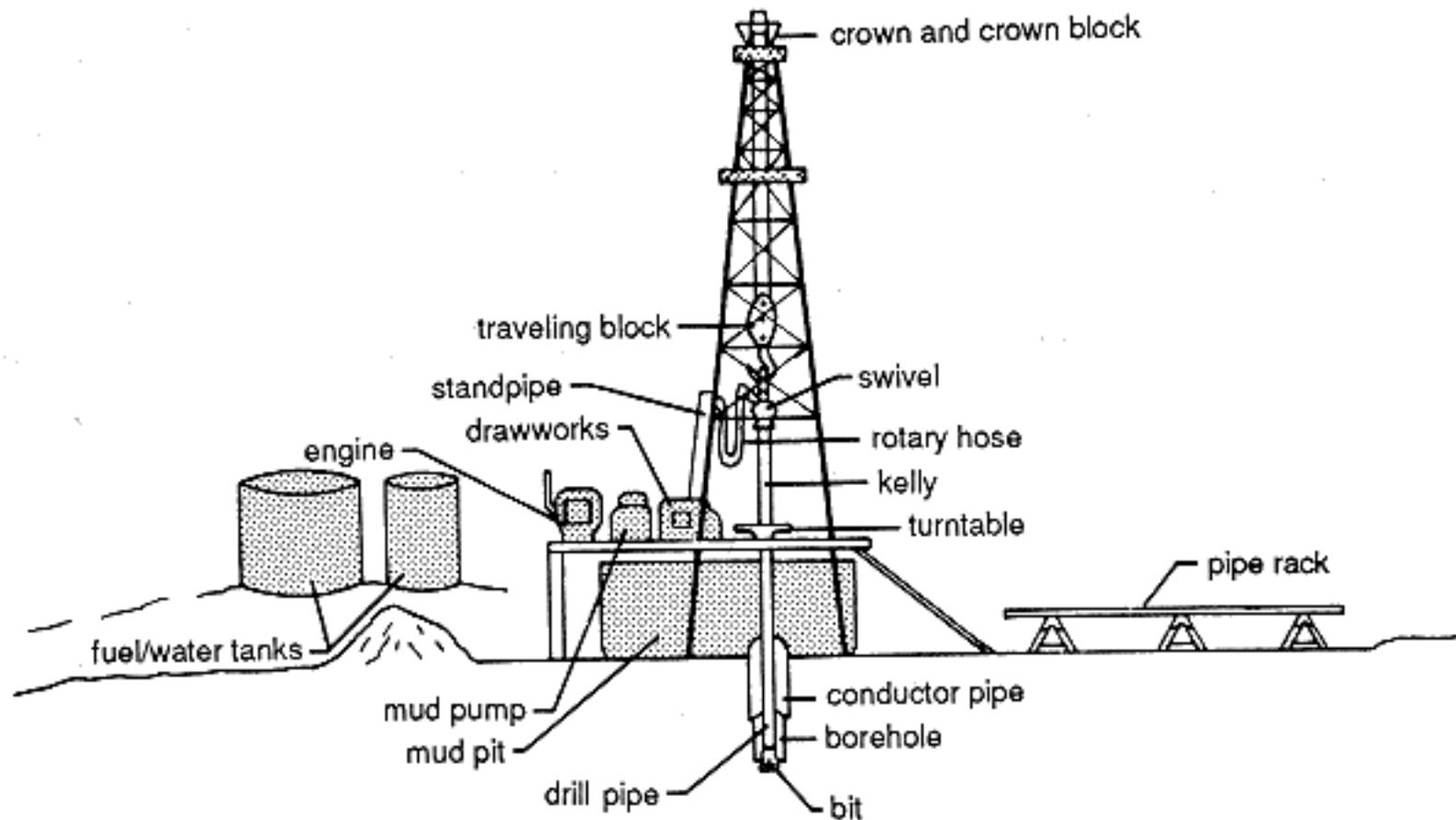
1. Metodo Gravimetrico
2. Metodo Magnetico
3. **Metodo Sismico**



Il metodo sismico consiste nel misurare la variazione della velocità di trasmissione delle onde sismiche causato dal differente comportamento elastico di rocce e petrolio.

IL PETROLIO

TRIVELLAZIONE



IL PETROLIO

TRIVELLAZIONE



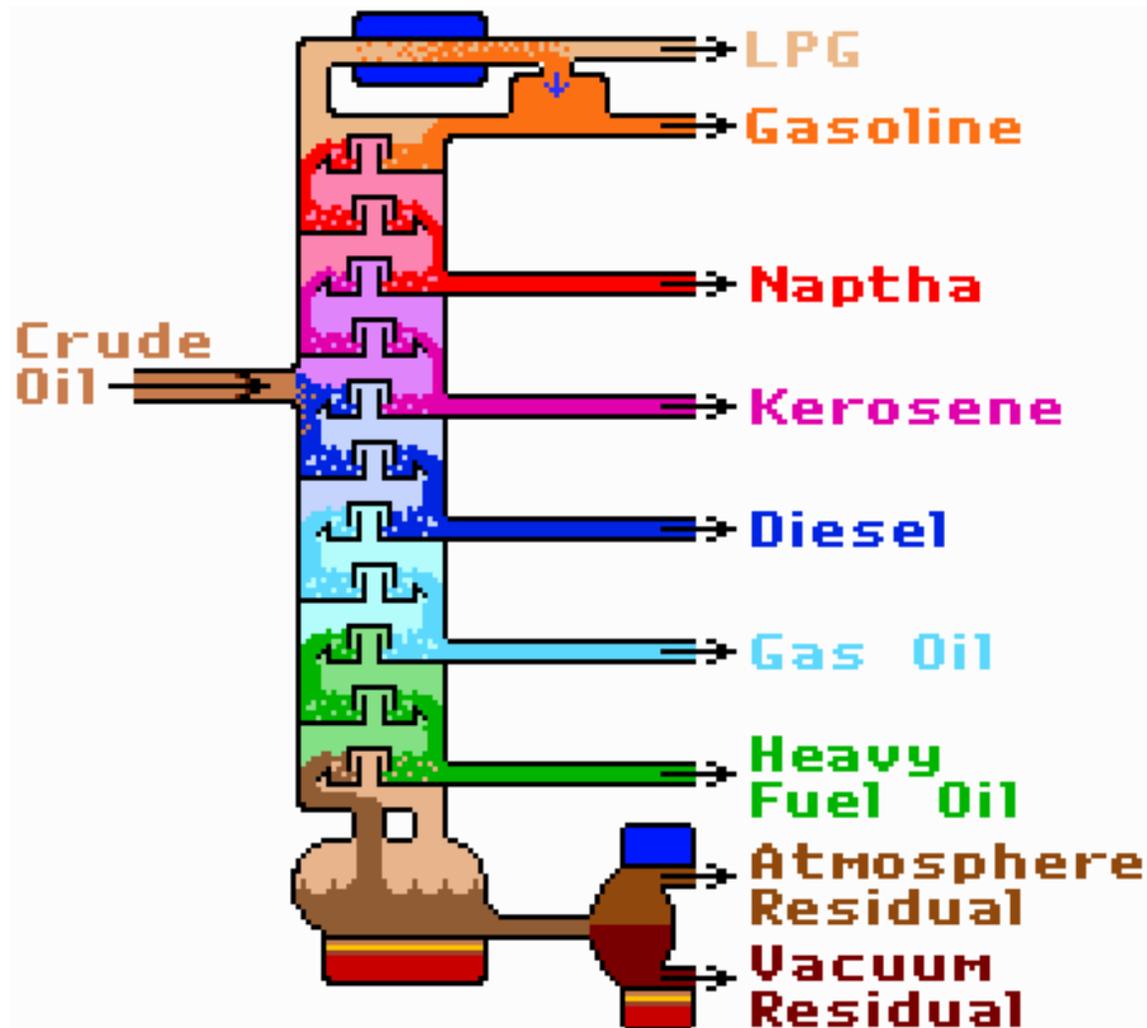
IL PETROLIO

TRASPORTO



IL PETROLIO

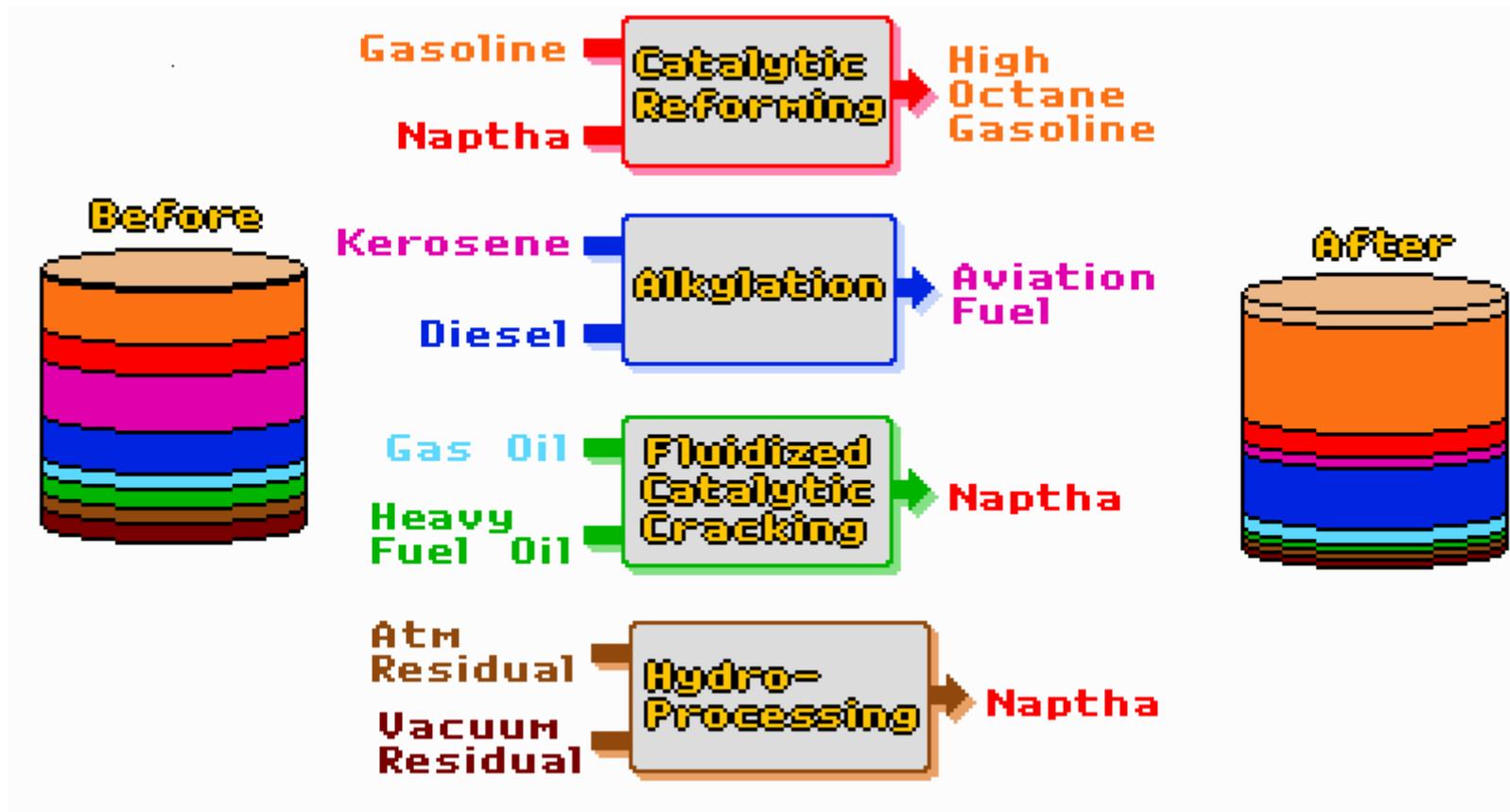
DISTILLAZIONE



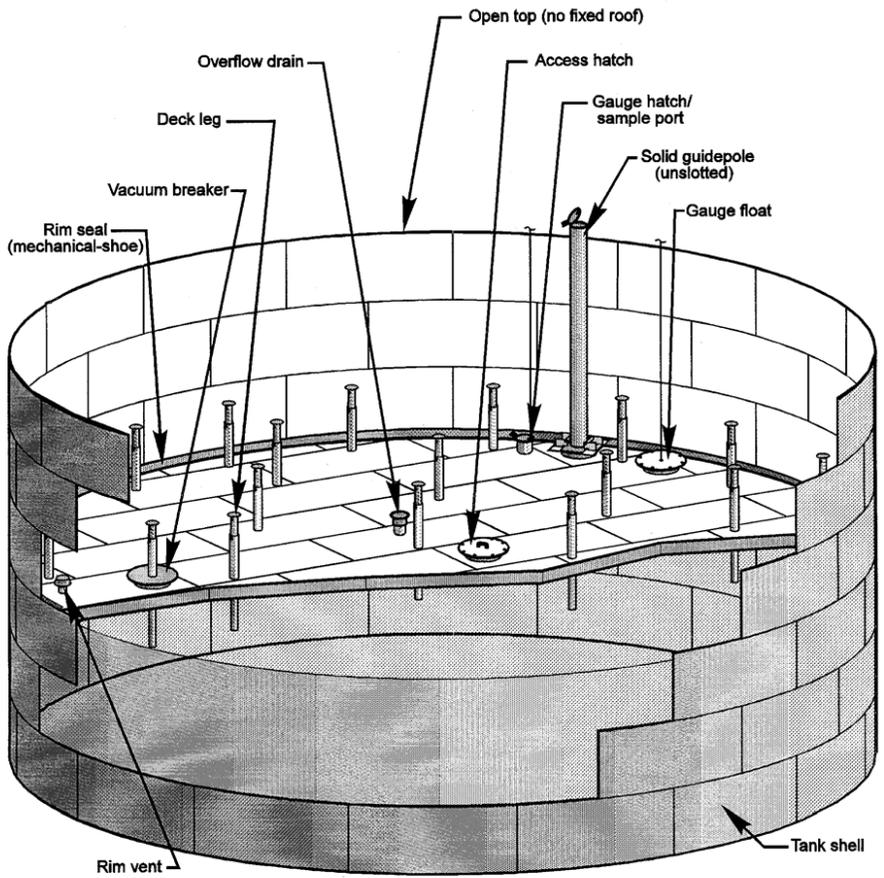
Distillate Fraction	Boiling Point (°C)
Gases	below 30
Gasoline	30-210
Naptha	100-200
Kerosene & Jet Fuel	150-250
Diesel & Fuel Oil	160-400
Atmospheric Gas Oil	220-345
Heavy Fuel Oil	315-540
Atmospheric Residue	over 450
Vacuum Residue	over 615

IL PETROLIO

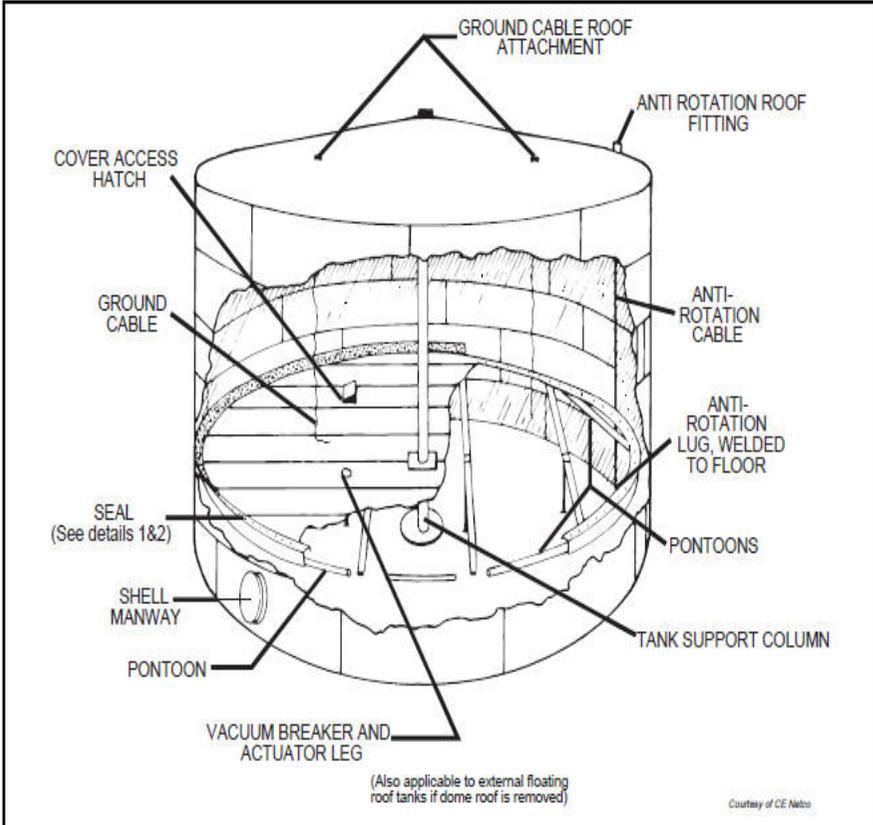
PROCESSI CHIMICI



Serbatoi per petrolio



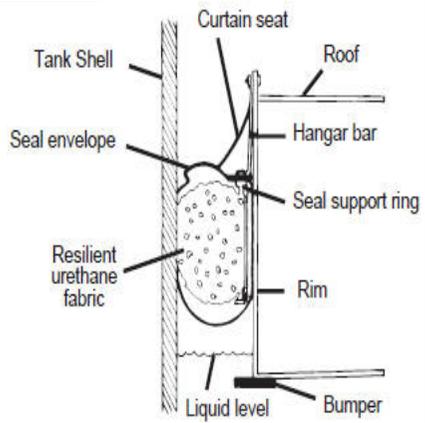
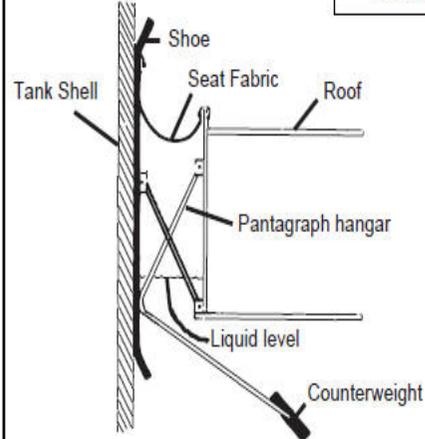
Typical Arrangement of Internal Floating Roof Tank



Detail 1 - Shoe seal

Example Types of Seals for Floating Roof Tanks

Detail 2 - Tube Seal



COMBUSTIBILI SOLIDI

Benchè siano numerose le sostanze solide che possono combinarsi esotermicamente con l'ossigeno, il numero delle sostanze che possono essere considerate combustibili industriali è ristretto.

Una sostanza, per essere considerata un combustibile industriale, deve essere:

- Economica (diamante)
- Largamente disponibile (cere)
- Non deve produrre, nella combustione, sostanze dannose (zolfo)

COMBUSTIBILI SOLIDI

I combustibili solidi possono essere divisi in due macrogruppi:

- Attuali (legno)
- Combustibili naturali
 - Recenti (torbe e ligniti)
 - Fossili (litantrace e antracite)
- Combustibili artificiali
 - Carbone di legna
 - Semicoke
 - Coke

COMBUSTIBILI SOLIDI

CARATTERISTICHE CHIMICHE

Combustibile	C [%]	H [%]	(O+N) [%]	HV [MJkg]
Legno	50 – 54	6 - 6.5	40 – 44	18
Torba	55 – 60	5.5 - 6.5	30 – 40	20 – 23
Lignite	60 – 75	4.5 – 6	20 – 35	23 – 32
Litantrace	75 – 93	4 - 5.5	3 - 20	32 – 38
Antracite	93 - 95	4 – 2	3	35 - 36

COMBUSTIBILI SOLIDI

IL LEGNO

- **Attuali**
 - **Combustibili naturali**
 - Recenti
 - Fossili
 - **Combustibili artificiali**
 - Carbone di legna
 - Semicoke
 - Coke
- Il legno risulta costituito da due parti strutturali, la cellulosa e la lignina.
- Il legno può essere considerato a pieno titolo una fonte energetica rinnovabile ed a emissione nulla di anidride carbonica, pertanto, mentre in passato il suo utilizzo come combustibile era limitato al solo impiego domestico, ora si utilizza anche per la produzione di energia elettrica.

COMBUSTIBILI SOLIDI

LA TORBA

- **Attuali**
La torba è il più recente prodotto di metamorfosi di sostanze vegetali.
- **Recenti**
La torba estratta nelle *torbiere* ha un alto contenuto di umidità (70-90%), risulta quindi necessario procedere a una essiccazione che ne porta il tasso di umidità a valori prossimi al 50%.
L'essiccazione artificiale è in genere sempre antieconomica.
- **Fossili**
L'alto contenuto di ceneri e la qualità dei fumi generati nella combustione la rendono un combustibile di scarso pregio.
- **Carbone di legna**
Utilizzata prevalentemente per alimentare forni da vetro e ceramiche o a volte come concime.
- **Combutibili naturali**
- **Combutibili artificiali**
- **Semicoke**
- **Coke**

COMBUSTIBILI SOLIDI

LA LIGNITE

La lignite è un carbone più antico della torba.

Il maggiore difetto delle lignite è l'alto contenuto di zolfo, a volte maggiore del 10%. Non sono utilizzabili come combustibile se il contenuto di zolfo supera il 2% perché la SO_2 che si produce nella combustione si ossida ad SO_3 e provoca la formazione di acido solforico che causa la corrosione delle lamiere delle caldaie.

- Attuali
- **Combustibili naturali**
- **Recenti**
- Fossili
- Carbone di legna
- **Combustibili artificiali**
- Semicoke
- Coke

Ligniti	Umidità [%]	Ceneri [%]	HHV [kJ/kg]	Località
Torbose	50	35	19,000	Mugello e Val Gandino
Xiloidi	35	25	23,000	Valdarno e Spoleto
Picee	12	15	30,000	Bacu-Abis e Ribolla

COMBUSTIBILI SOLIDI

LITANTRACI E ANTRACITI

- **Attuali**
Sono i veri carboni fossili, generati da una spinta trasformazione sotterranea anaerobica.
 - **Recenti**
Si distinguono da carboni più recenti per la basicità dei vapori di distillazione.
 - **Fossili**
La litantrace è il combustibile più importante, per durezza, compattezza, contenuto di sostanze volatili e potere calorifico.
 - **Carbone di legna**
L'antracite ha potere calorifico ancora maggiore della litantrace ma non è adatta alla distillazione poiché produce poco gas. La combustione dell'antracite genera pochi fumi.
 - **Semicoke**
 - **Coke**
- **Combustibili naturali**
- **Combustibili artificiali**

COMBUSTIBILI SOLIDI

COMBUSTIBILI ARTIFICIALI

- Combustibili naturali
 - Attuali
 - Recenti
 - Fossili
 - Combustibili artificiali
 - Carbone di legna
 - Legna ⇒ Carbone di legna
 - Torba e Ligniti ⇒ Semi Coke
 - Litantrace e Antracite ⇒ Coke
 - Semicoke
 - Coke
- I vantaggi della trasformazione sono:
- Aumento del potere calorifico
 - Aumento della compattezza, della resistenza meccanica
 - Aumento del potere riducente
 - Eliminazione delle sostanze dannose alla metallurgia (ammoniaca, zolfo, acido solfidrico...)
 - Creazione di gas e catrami utili e fonti di prodotti chimici

COMBUSTIBILI SOLIDI

CARBONE DI LEGNA

- **Combustibili naturali**
 - Attuali
 - Recenti
 - Fossili
 - **Combustibili artificiali**
 - **Carbone di legna**
 - Semicoke
 - Coke
- Ottenuto dalla pirolisi del legno, oggi caduto in disuso per la minore disponibilità di legno, da intendersi sia come scarsità della materia prima sia come conseguenza del fatto che il legno è oggi materia prima richiesta per altri usi.
- Il carbone di legna, specialmente se ottenuto con il sistema delle *carbonaie*, è molto poroso, adatto quindi ad assorbire gas e vapori, è povero di ceneri (3.5%) fornito di materie volatili (10%) e con un potere calorifico di circa 33,000 kJ/kg.
- L'alto grado di purezza lo rende ottimo per usi metallurgici, ma da questo punto di vista risulta troppo costoso.

COMBUSTIBILI SOLIDI

SEMICOKE

- **Combustibili naturali**
 - Attuali
 - Recenti
 - Fossili
 - **Combustibili artificiali**
 - **Carbone di legna**
 - **Semicoke**
 - Coke
- Ottenuto dal riscaldamento, a circa 500°C, in assenza d'aria della torba e della lignite.
- Carbone molto friabile e poroso, brucia con poco fumo e fiamma lunga poiché ha un relativamente alto contenuto di sostanze volatili (20%)
- La distillazione genera circa l'80% di semicoke, l'8% di catrame e il 12% di gas.
- Il gas ha potere calorifico pari a circa 28-29 MJ/kg

COMBUSTIBILI SOLIDI

COKE

- **Combustibili naturali**
 - Attuali
 - Distillando il litantrace sopra i 900°C si ottiene il gas di cokeria, del catrame e un residuo carbonioso (coke)
 - Recenti
 - Il coke è meccanicamente resistente (150 kg/cm²), poroso, infusibile e povero di ceneri La densità apparente è pari a circa 0.9 ton/m³ e il potere calorifico vale circa 30 MJ/kg
 - Fossili
- **Combustibili artificiali**
 - Carbone di legna
 - Semicoke
 - Coke

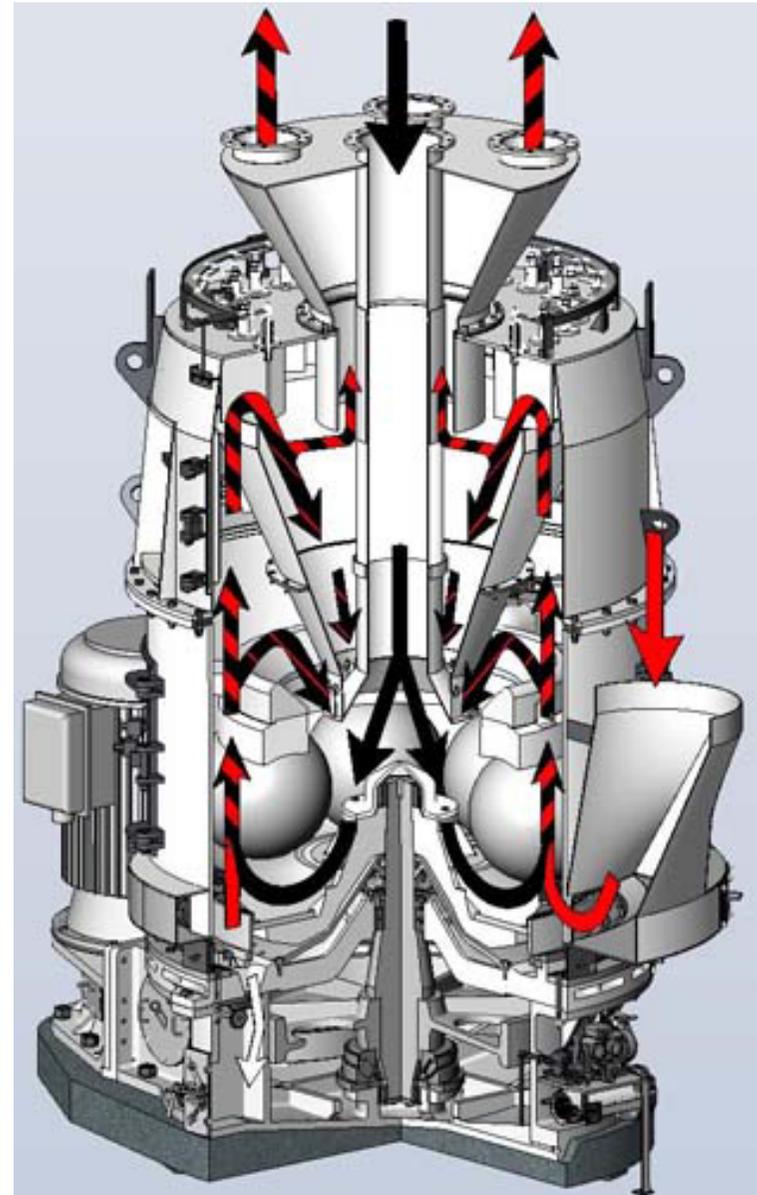
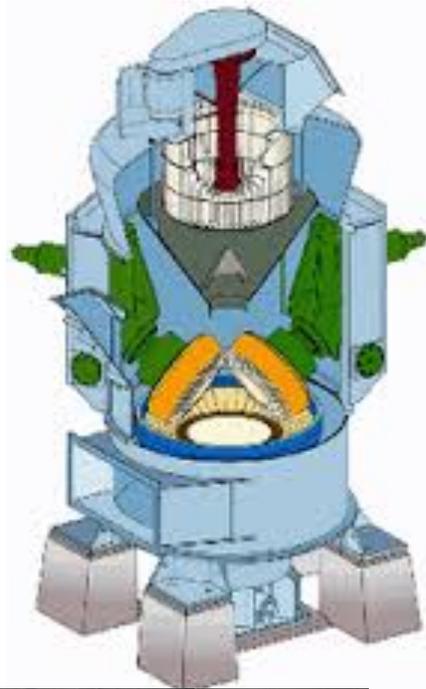
CARBONE



CARBONE

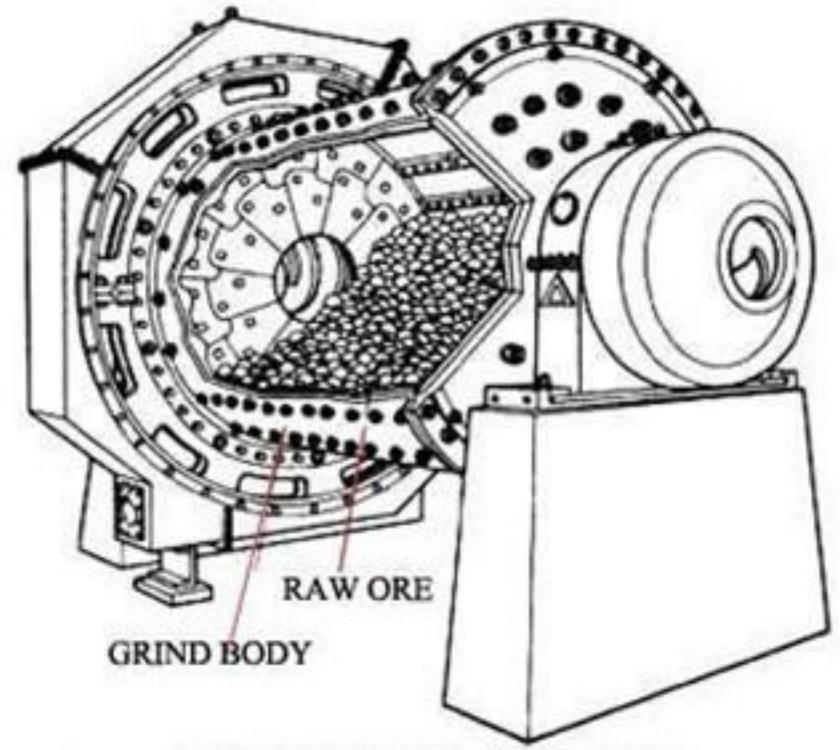


Mulini





Mulini



BALL MILL STRUCTURE

I COMBUSTIBILI GASSOSI

I combustibili gassosi presentano notevoli vantaggi per l'utilizzo, sono infatti facili da trasportare e bruciando con ridotti eccessi d'aria, consentono di raggiungere elevati rendimenti di combustione.

I combustibili gassosi possono essere:

- Direttamente estratti dal sottosuolo
- Prodotti da gassificazione del carbone
- Derivanti dalla distillazione del petrolio
- Prodotti da pirolisi e sintesi chimica

I COMBUSTIBILI GASSOSI

- Gas naturale Costituito principalmente da metano, a volta presenta piccole impurità (H_2S). LHV = 9,000 kcal/Nm³
- Gas d'aria
- Gas d'altoforno Gas ottenuti dalla gassificazione del carbone.
- Gas d'acqua LHV variabile tra 800 e 4,000 kcal/Nm³
- Gas di cokeria

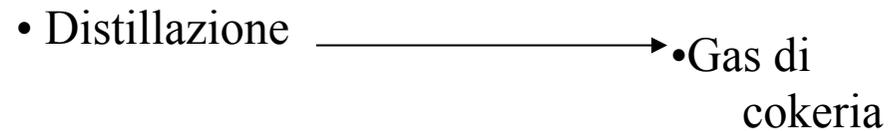
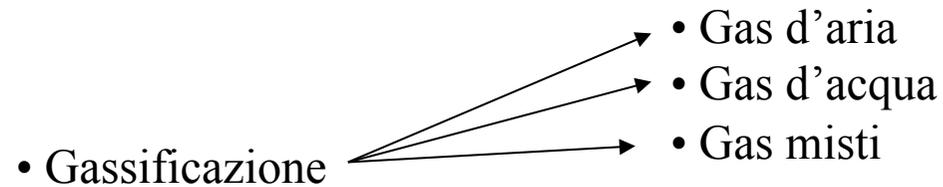
- GPL Costituito da propano, propilene, isobutano, butilene, isobutilene, n.butano. LHV = 16,000 – 17,000 kcal/Nm³
- Gas di raffineria Gas provenienti dai processi di pirolisi e di reforming nelle raffinerie. LHV = 2,000 – 4,000 kcal/Nm³
- Syngas Gas proveniente dal processo di pirolisi. Le caratteristiche dipendono dal materiale pirolizzato e dai parametri operativi del processo.

I COMBUSTIBILI GASSOSI

Combustibile	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₈ C ₄ H ₁₀	N ₂
Gas naturale	0.2	-	-	-	99.2	-	-	0.6
Gas di raffineria	-	0.2	1.2	6.1	4.4	72.5	-	0.6
Gas di carbone	1.7	0.5	6.9	49.7	29.9		3.1	8.2
Gas di gasogeno	8	0.1	23.2	17.7	1		-	50
Gas d'acqua	3.6	0.4	21.9	49.6	10.9	2.5	6.1	5
Metano biologico	30	-	-	-	66		-	4

COMBUSTIBILI GASSOSI ARTIFICIALI

Dai combustibili solidi è possibile ricavare dei combustibili gassosi.
Ciò può essere effettuato tramite i processi di:



COMBUSTIBILI GASSOSI ARTIFICIALI

GAS D'ARIA

Sufflando aria su una pila di carbone ad alta temperatura si hanno le reazioni:



Riassumibili in:



- **Gassificazione**
- Gas d'aria
- Gas d'acqua
- Gas misti

- Distillazione
- Gas di cokeria

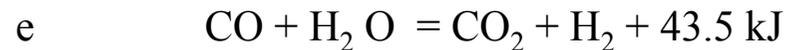
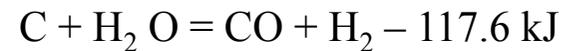
T [°C]	% CO	% CO ₂	% N ₂
400	0.37	20.61	79.02
500	2.64	19.24	78.02
600	11.69	13.77	74.54
700	23.72	6.50	69.78
800	31.75	1.65	66.60
900	33.86	0.38	65.76

COMBUSTIBILI GASSOSI ARTIFICIALI

GAS D'ACQUA

Si ottiene mandando acqua su una pila di carbone rovente

Si hanno le reazioni:



- **Gassificazione**
- Gas d'aria
- **Gas d'acqua**
- Gas misti

Il gas d'acqua in genere ha potere calorifico pari a 10.5MJ/m³

E composizione media pari a:

$$CO = 38 - 40 \%$$

$$H = 50 - 52 \%$$

$$N = 3 \%$$

$$CO = 5 \%$$

$$CH = 0.5 - 1 \%$$

- **Distillazione**
- Gas di cokeria

COMBUSTIBILI GASSOSI ARTIFICIALI

GAS MISTO

Si ottiene mandando contemporaneamente aria e acqua su una pila di carbone rovente

Il gas misto in genere ha potere calorifico pari a 5MJ/kg

E composizione media pari a:

- **Gassificazione**
- Gas d'aria
- Gas d'acqua
- **Gas misti**

CO = 38 – 40 %

H = 50 – 52 %

N = 3 %

CO = 5 %

CH = 0.5 – 1 %

- Distillazione
- Gas di cokeria

COMBUSTIBILI GASSOSI ARTIFICIALI

GAS DI COKERIA

Si ottiene durante la distillazione della litantrace per la produzione di coke.

Modificando opportunamente i parametri operativi del processo si può far diventare il gas il prodotto principale della gassificazione.

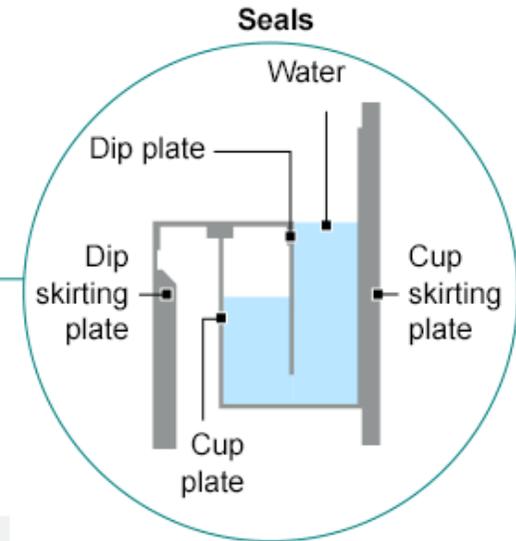
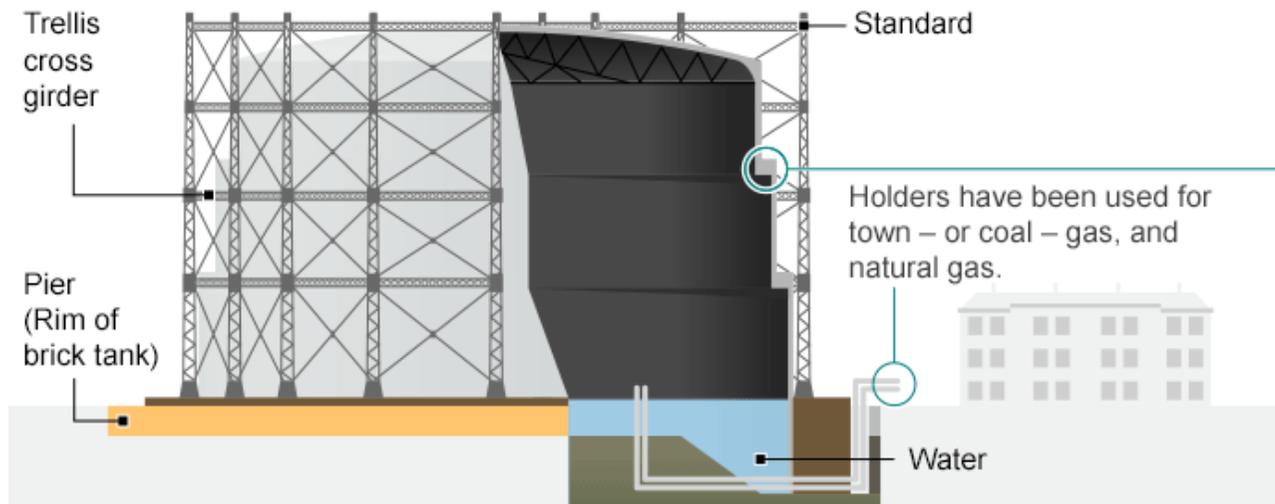
- Gassificazione
 - Gas d'aria
 - Gas d'acqua
 - Gas misti

- Distillazione
 - Gas di cokeria

Gasometro

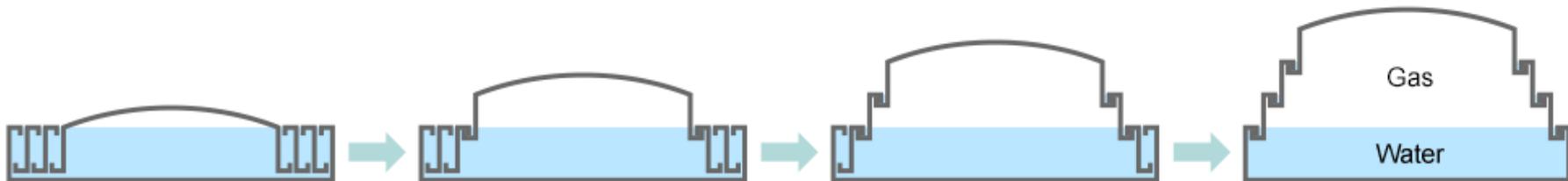
How gas holders work

Typically, about 50,000 cubic metres of gas is held at low pressure.



Column-guided gas holders

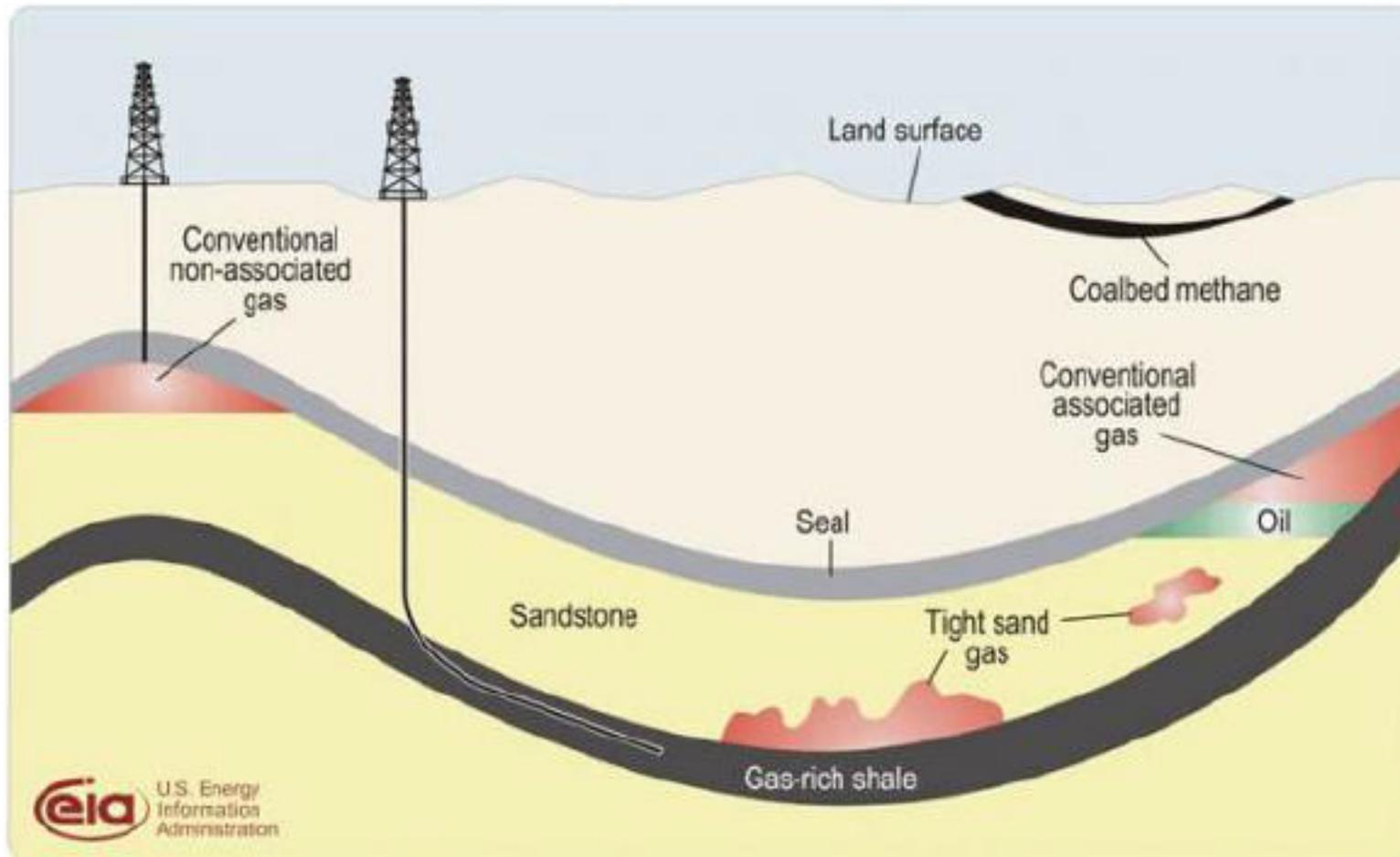
Most common type of gas holder found in UK. Fixed metal frames guide the cylindrical telescoping walls, up or down. Gas enters through the base and the pressure pushes up the chambers one by one. Water helps keep gas in and air out, preventing ignition.



Trasporto del Gas Naturale

- Il gas naturale può essere trasportato in grandi quantità via gasdotti o via nave
- Nel primo caso il trasporto avviene allo stato gassoso
- Nel secondo caso avviene allo stato liquido

Produzione del gas naturale



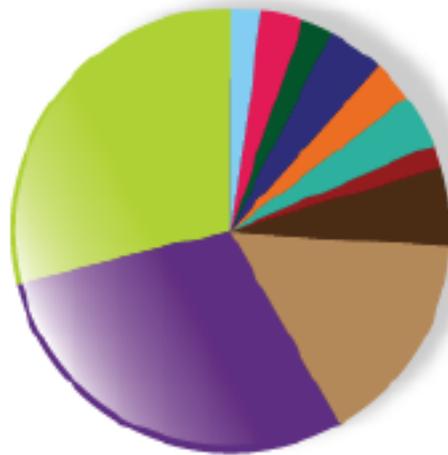
Risorse di gas naturale

1998

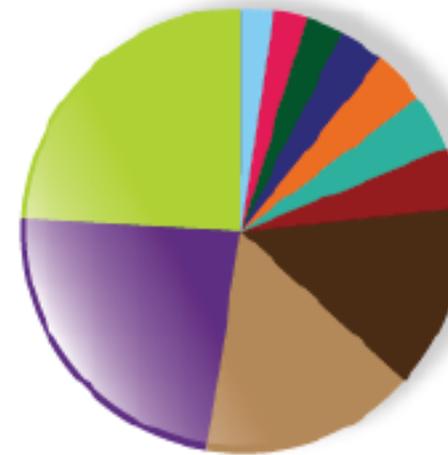
World: 148,701 bilion cubic metres as at 1st January

2010

World: 193,117 bilion cubic metres as at 1st January



Algeria	2.5%	Turkmenistan	1.8%
Venezuela	2.8%	Qatar	5.7%
Nigeria	2.3%	Iran	15.5%
United Arab Emirates	4.1%	Russia	29.6%
United States	3.2%	Rest of the world	28.7%
Saudi Arabia	3.8%		



Algeria	2.3%	Turkmenistan	4.4%
Venezuela	2.7%	Qatar	13.4%
Nigeria	2.7%	Iran	15.9%
United Arab Emirates	3.3%	Russia	23.3%
United States	4.0%	Rest of the world	24.1%
Saudi Arabia	4.0%		

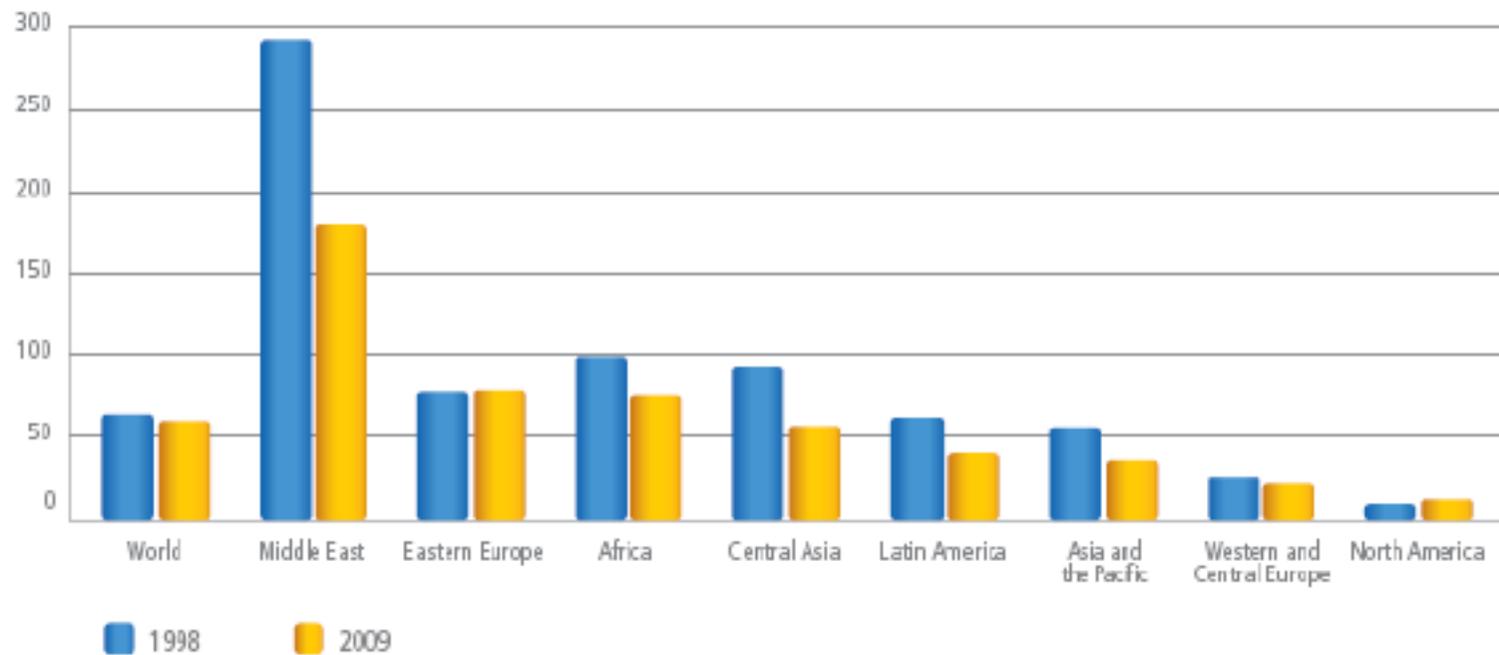
Durata delle risorse

1998

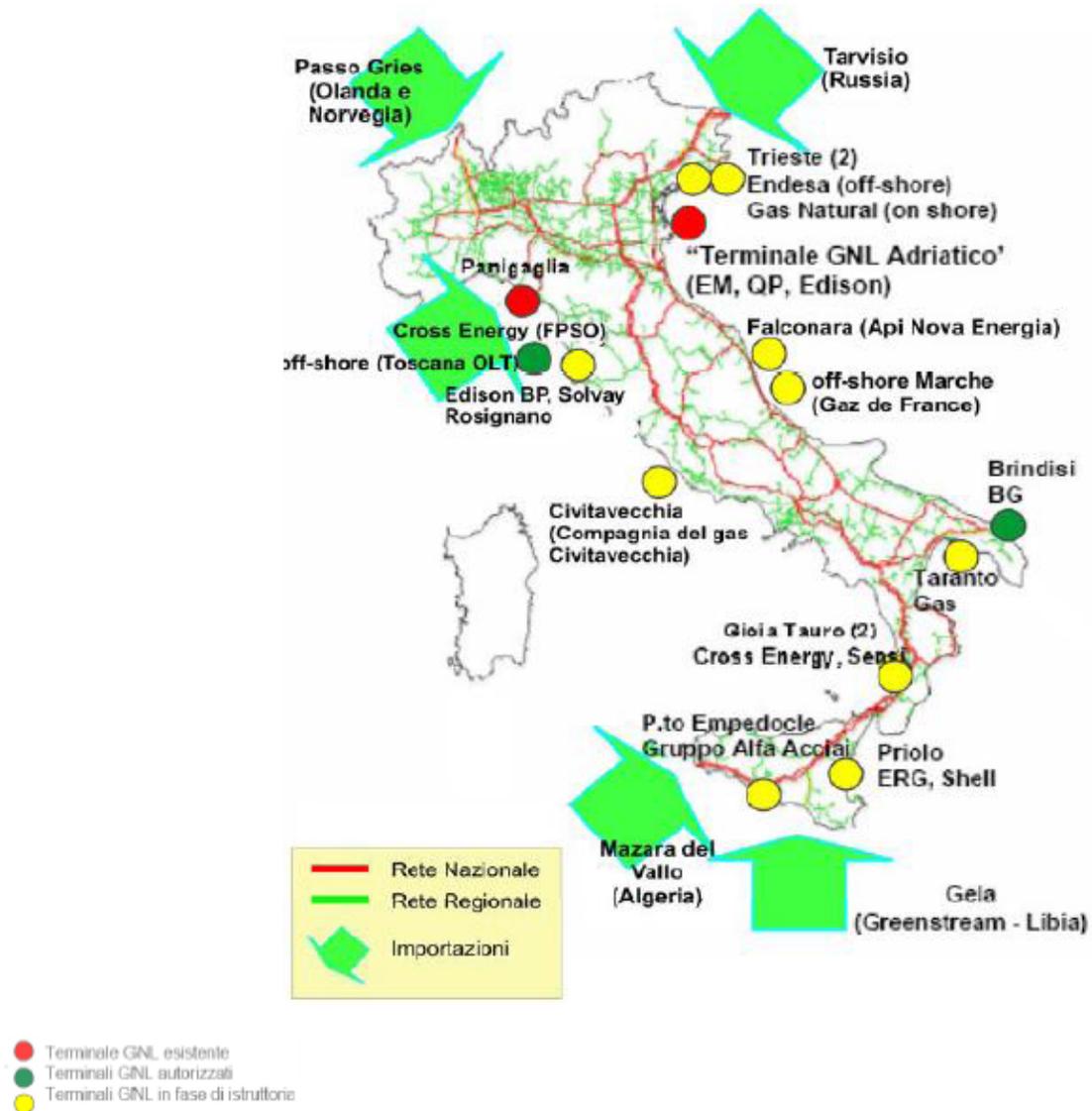
World: 64 years

2009

World: 60 years



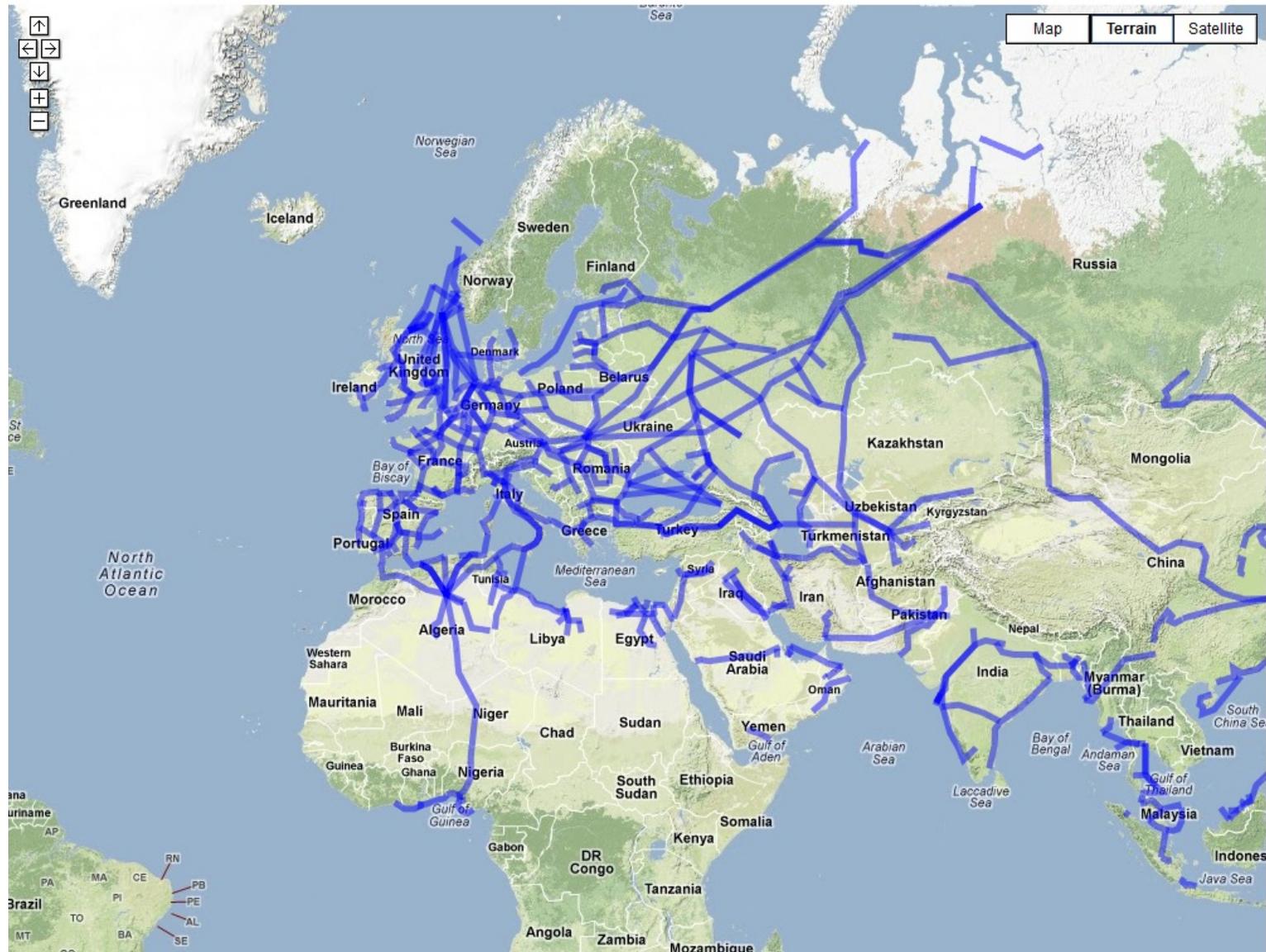
Provenienza del gas in Italia



Composizione del gas in Italia

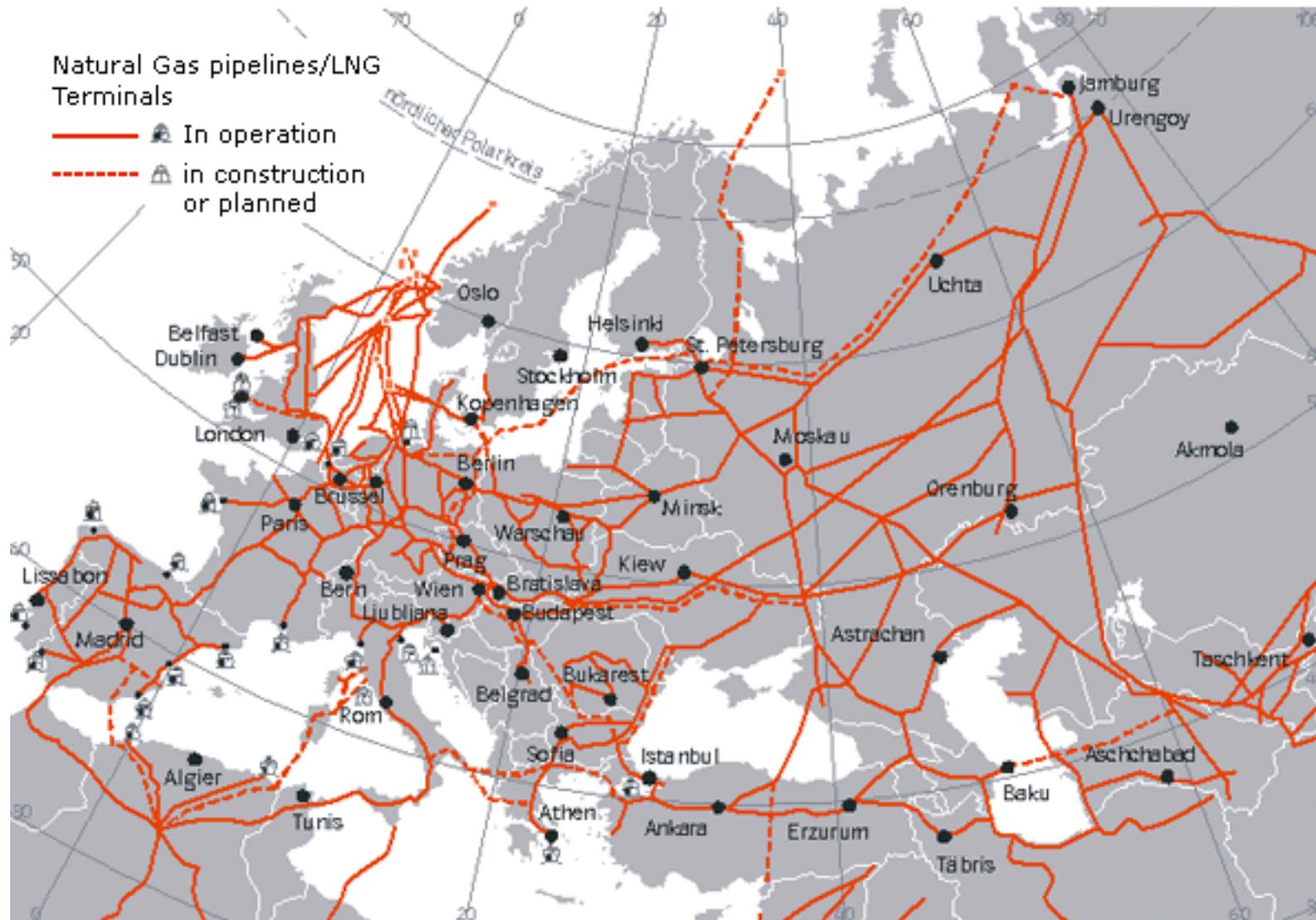
Gas naturale	Nazionale % vol	Russo % vol	Nord Europa % vol	Algerino % vol
Metano	99,33	97,92	90,31	83,62
Etano	0,05	0,77	4,83	8,42
Altri idrocarburi	0,01	0,35	1,63	2,68
Anidride carbonica	0,03	0,09	1,14	0,51
Azoto	0,57	0,86	2,05	4,62
Elio	0,01	0,01	0,04	0,15
Potere calorifico superiore (MJ/Sm ³)	37,58	37,886	39,054	39,985
Potere calorifico inferiore (MJ/Sm ³)	33,836	34,125	35,244	36,137

Trasporto del gas naturale



Trasporto del gas naturale

Natural Gas distribution system in Europe including the CIS states

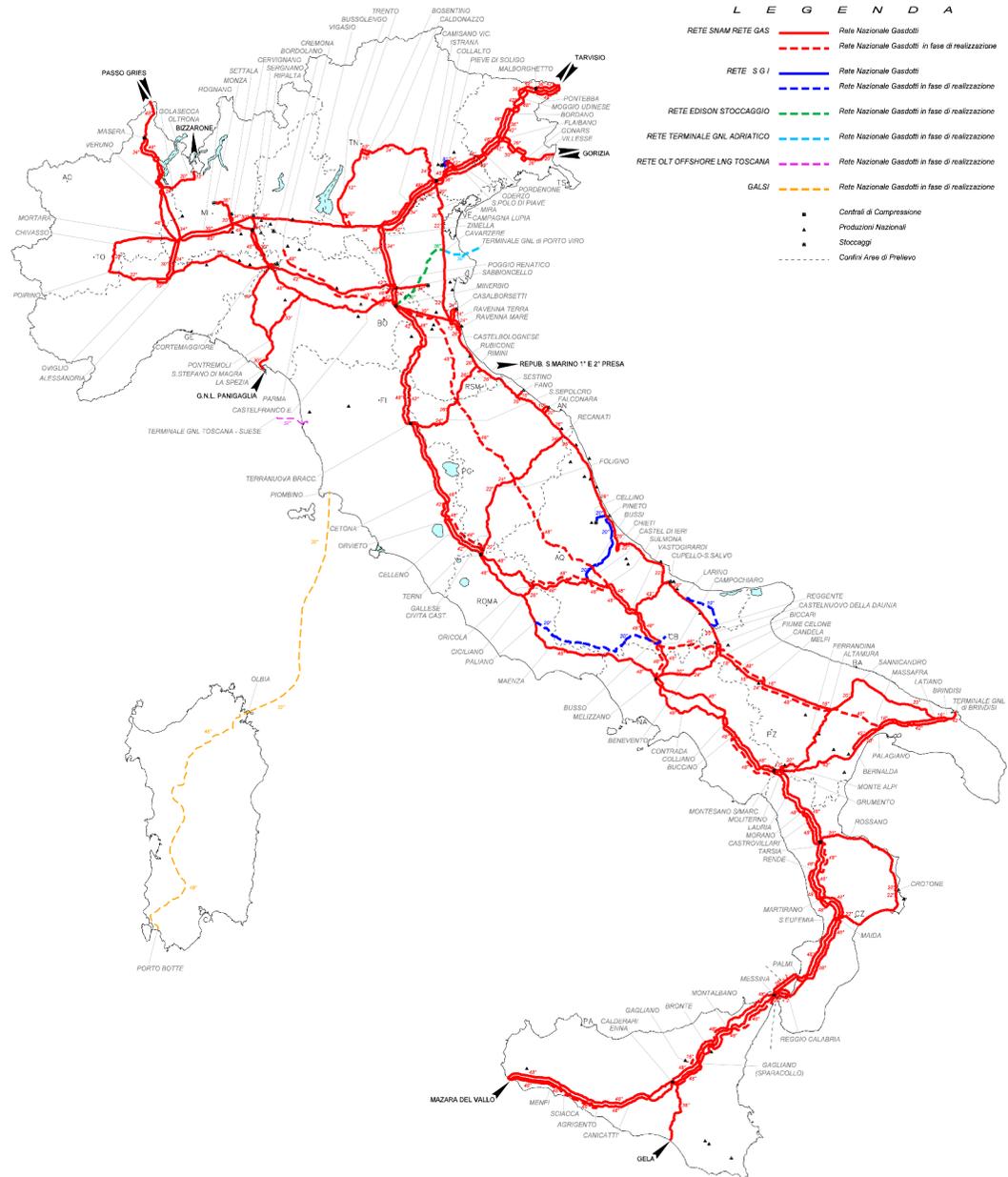


RETE NAZIONALE DEI GASDOTTI

ai sensi dell'art. 9 DLGS 164/2000 - D.M. 01/08/2008

Situazione a Dicembre 2008

0 20 40 60 80 100 km

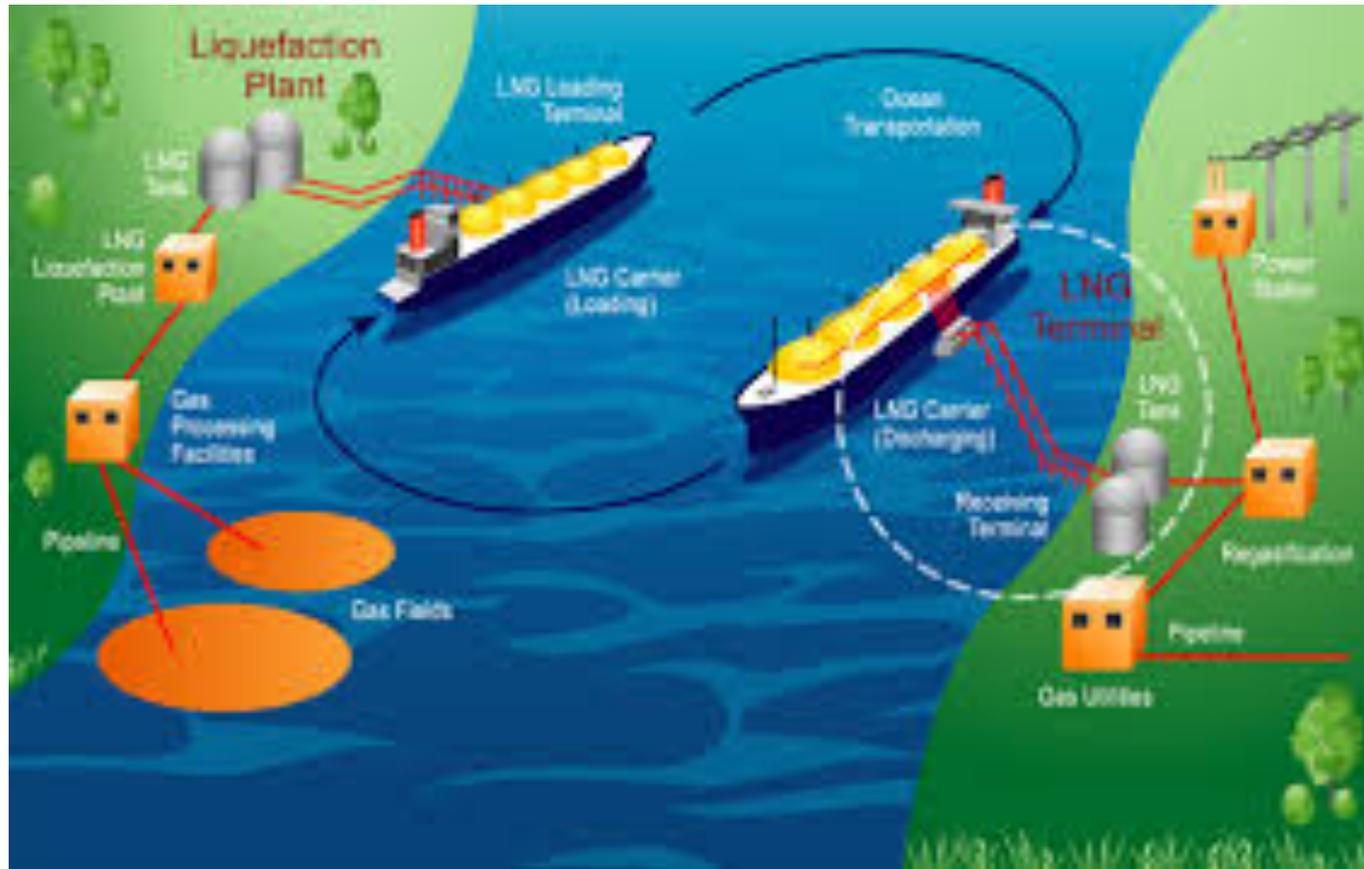




Legenda

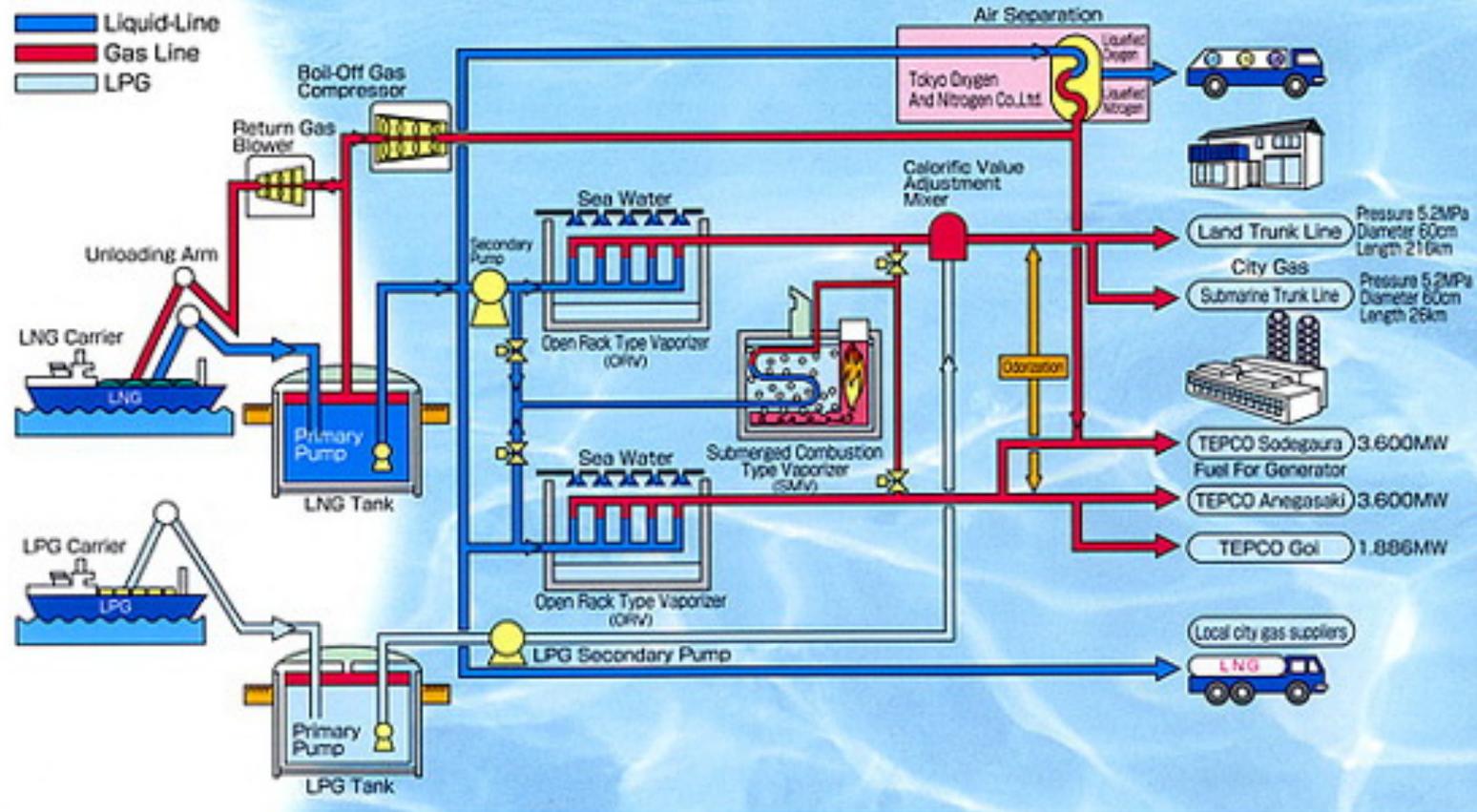
- Rete Nazionale di Gasdotti
- Rete di trasporto Regionale
-  Terminale di Rigassificazione del G.N.L.
-  Centro di Dispacciamento
-  Terminale Marittimo
-  Centrale di Compressione

LNG



LNG

Process flow



Trasporto LNG

