

Corso di impiego industriale dell'energia



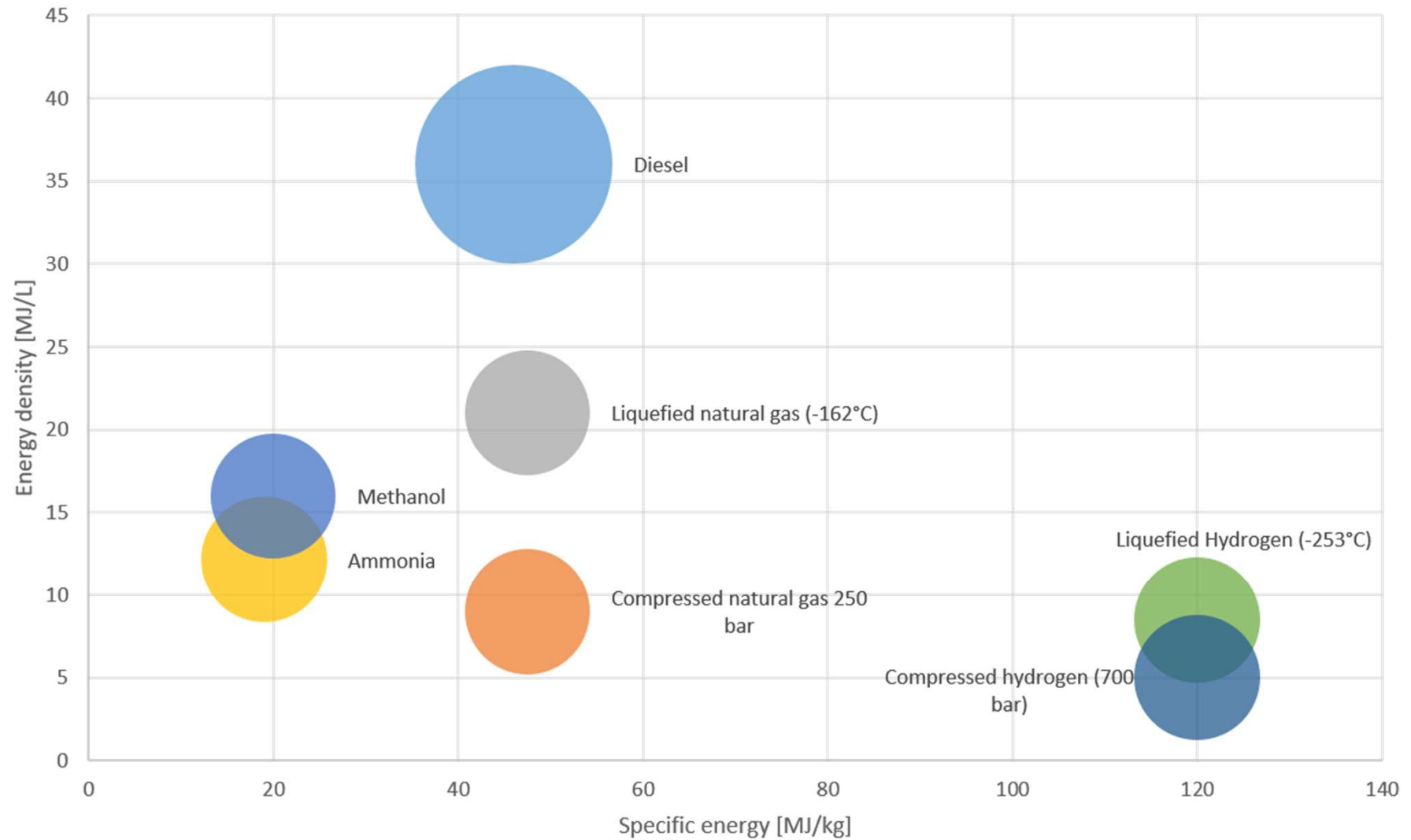
COMBUSTIBILI ALTERNATIVI – Gas naturale

Prof. Rodolfo Taccani

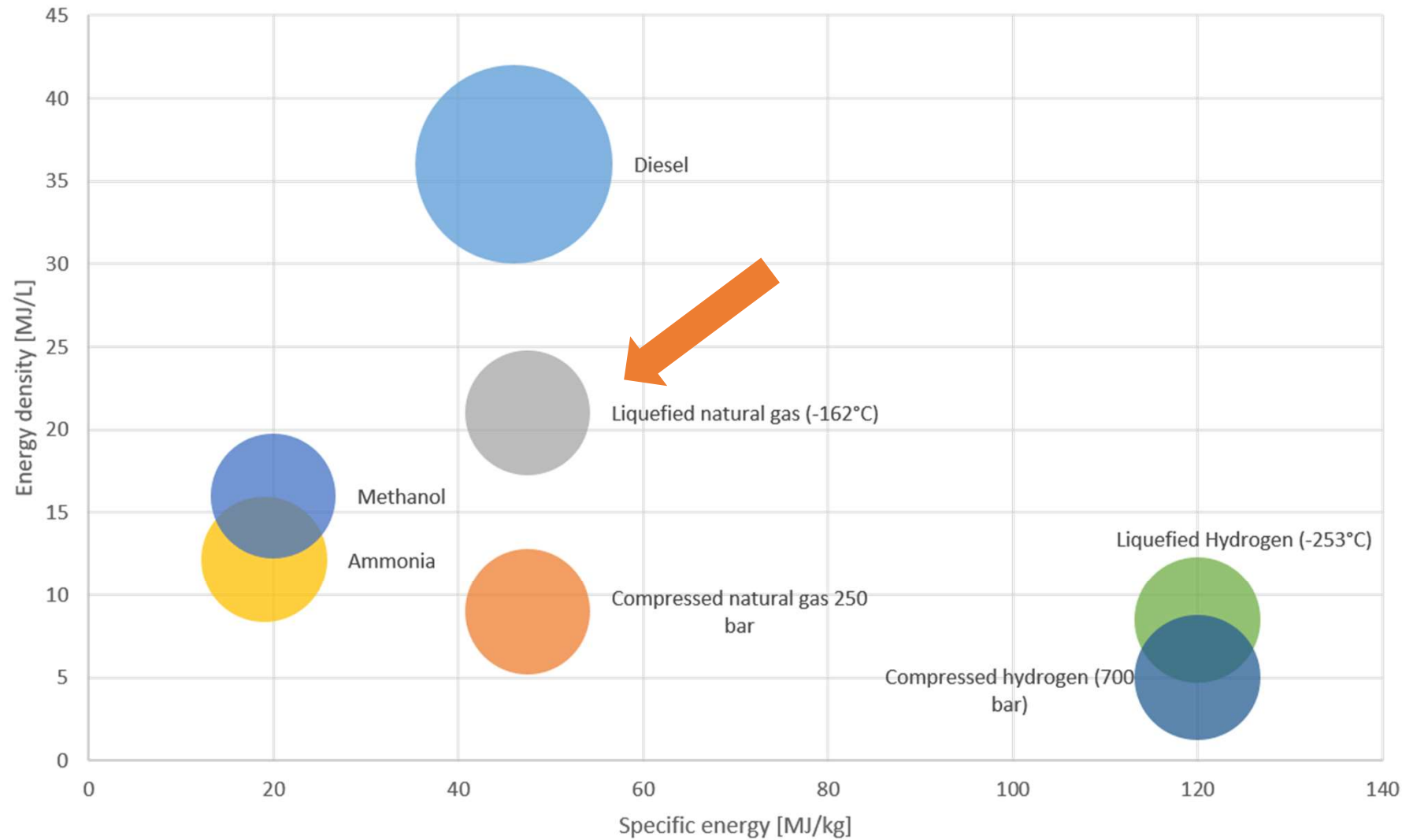
Ing. Pivetta Davide

AA 2019-20

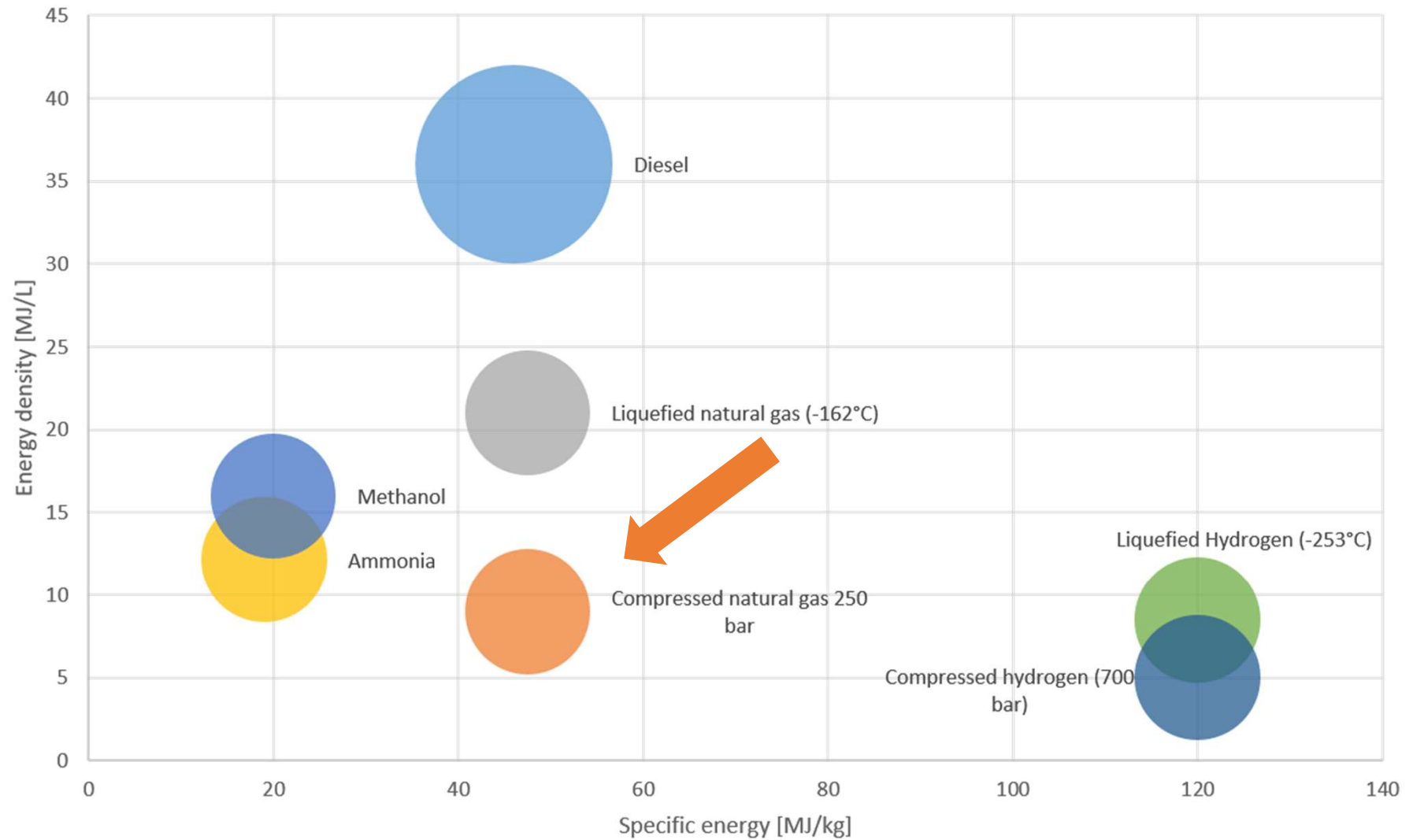
Caratteristiche combustibili



Caratteristiche combustibili



Caratteristiche combustibili



GAS NATURALE

COMPOSIZIONE DEL GAS NATURALE

| Composizione indicativa | | | | | |
|-------------------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| | Formula chimica | Gas nazionale | Gas sovietico | Gas olandese | Gas algerino |
| Metano | CH_4 | 99,2% | 92,0% | 88,85% | 83,0% |
| Etano | C_2H_6 | 0,4% | 3,2% | 4,3% | 7,5% |
| Propano | C_3H_8 | 0,14% | 0,85% | 0,9% | 2,0% |
| Butano | C_4H_{10} | --- | 0,2% | 0,3% | 0,8% |
| Pentano | C_5H_{12} | --- | 0,1% | 0,1% | 0,3% |
| Esano | C_6H_{14} | --- | 0,05% | 0,05% | 0,3% |
| Anidride carbonica | CO_2 | 0,11% | 0,3% | 1,3% | 0,2% |
| Azoto | N_2 | 0,25% | 3,3% | 4,2% | 6,0% |

GAS NATURALE

Indice di Wobbe: è il principale indice dell'intercambiabilità del gas naturale a parità di pressione. E' definito come il rapporto fra il potere calorifico superiore di un gas (PCS) e la radice quadrata della sua densità relativa rispetto alla densità dell'aria in condizioni standard (ρ).

$$I_W = \frac{PCS}{\sqrt{\rho}}$$

METANO

| GAS | Densità (kg/Nm ³) | Densità relativa |
|----------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Ammoniaca | 0,771 | 0,597 |
| Anidride Carbonica | 1,997 | 1,529 |
| Aria | 1,293 | 1,000 |
| Azoto (puro) | 1,251 | 0,967 |
| Butano | 2,703 | 2,091 |
| Idrogeno | 0,0899 | 0,0695 |
| Ossigeno | 1,429 | 1,105 |
| Propano | 2,019 | 1,562 |
| Metano (puro) | 0,71 | 0,551=(0,713/1,293) |

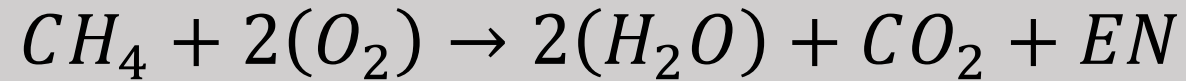
La *densità di riferimento* per un gas è definita per Normal metro cubo (Nm³), cioè valutata alla pressione assoluta di 1 bar e alla temperatura di 0°C.

La *densità relativa* è il rapporto fra la densità del gas e quella dell'aria (nelle condizioni Normali).

METANO

METANO: è un idrocarburo che fa parte delle paraffine. È incolore, inodore, non tossico e non corrosivo.

Reazione di ossidazione:



Potere calorifico: quantità di calore sviluppata dalla combustione completa di un normale metro cubo del gas stesso.

HHV = 9.530 kcal/Nm³ = 13.284 kcal/kg

LHV = 8.570 kcal/Nm³ = 11.946 kcal/kg

15,44 kWh/kg

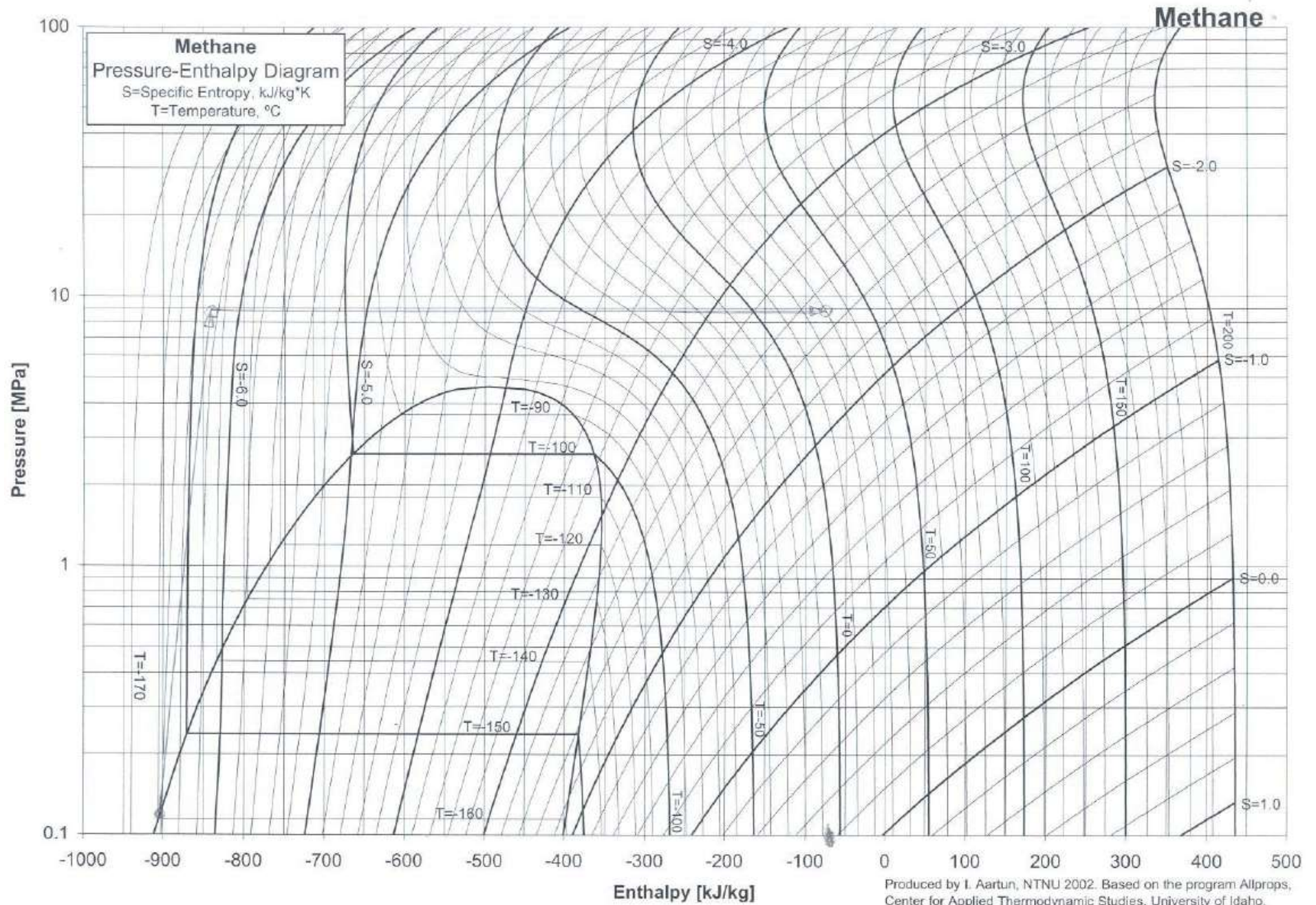
METANO

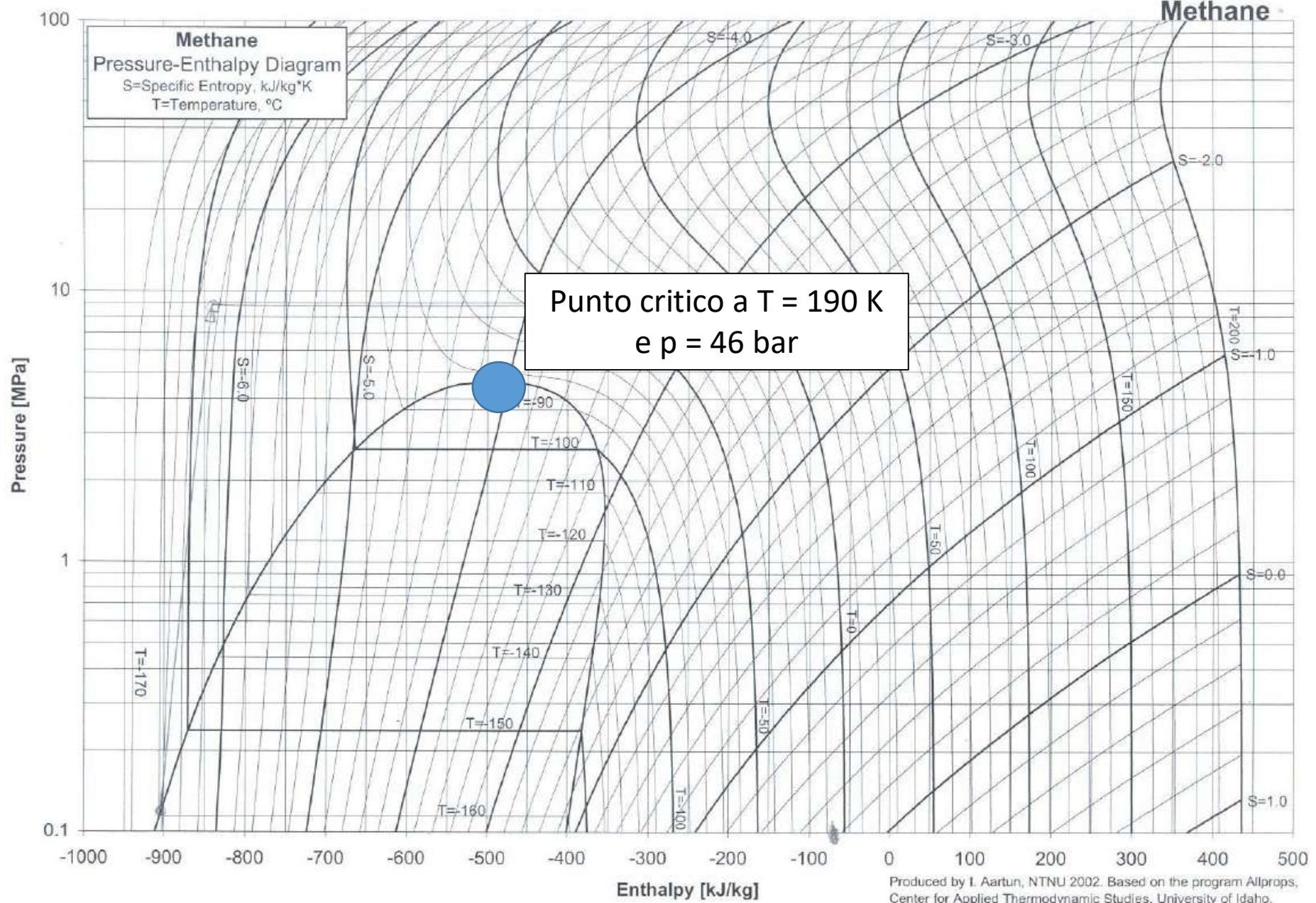
Potere carburivoro: volume di aria tecnicamente necessario alla combustione completa di 1 Nm³ di gas;

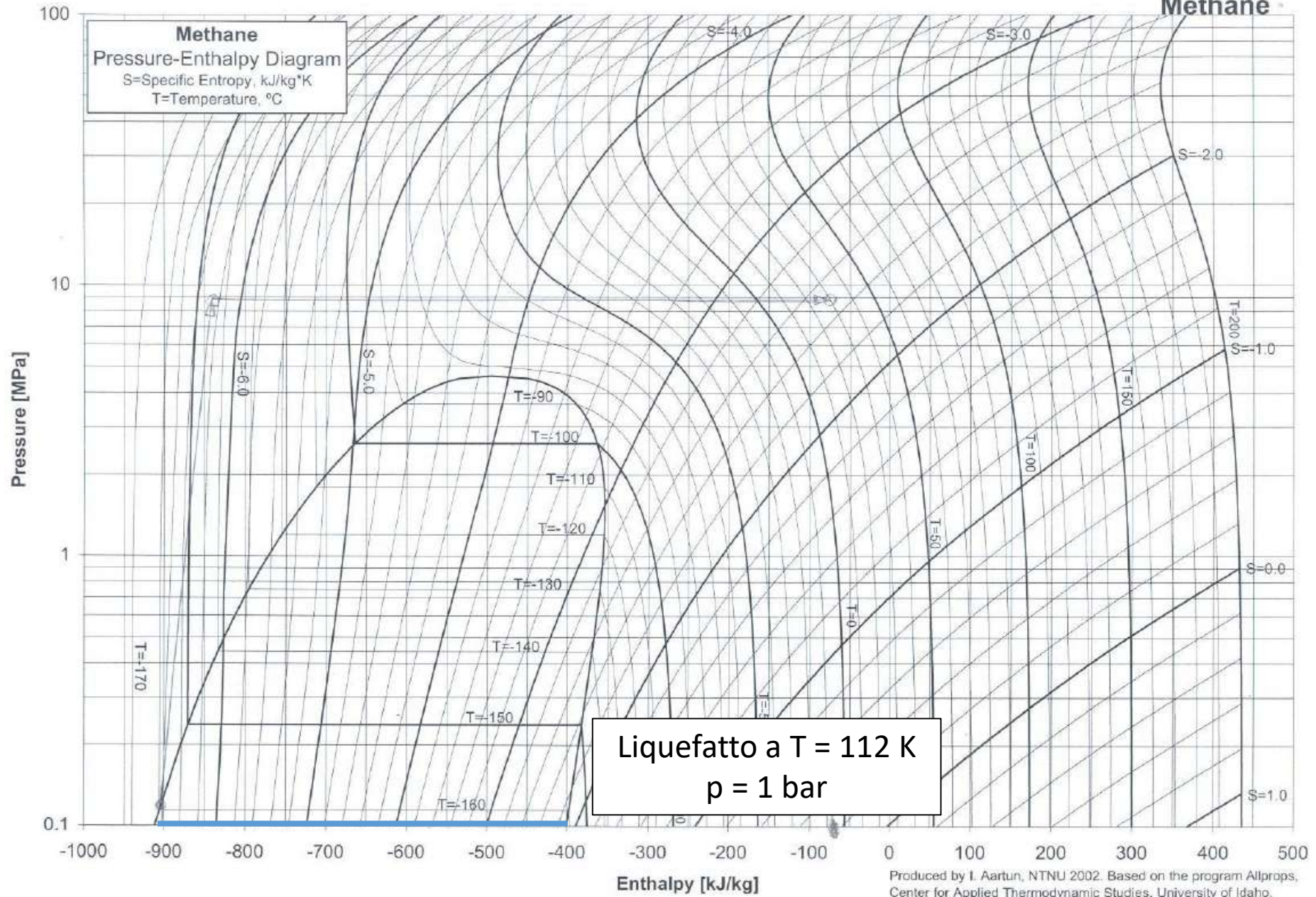
Per gas metano = 10 Nm³ d'aria

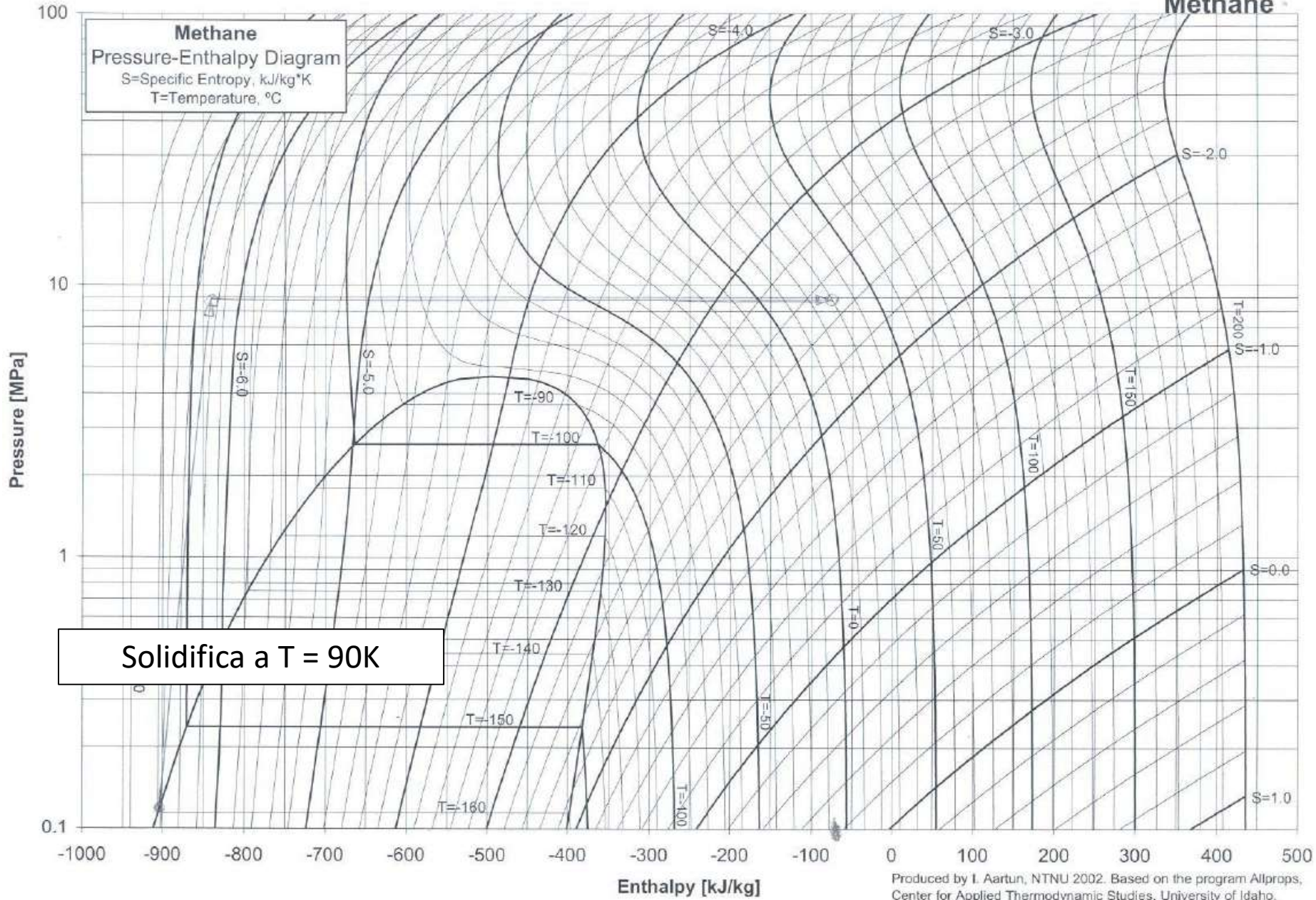
Limite di infiammabilità: definito come il rapporto, in volume, di un combustibile gassoso in una miscela di gas ed aria, sotto od oltre il quale la miscela non si accenderà o non continuerà a bruciare.

Per gas metano = 4,5 - 15% della miscela.

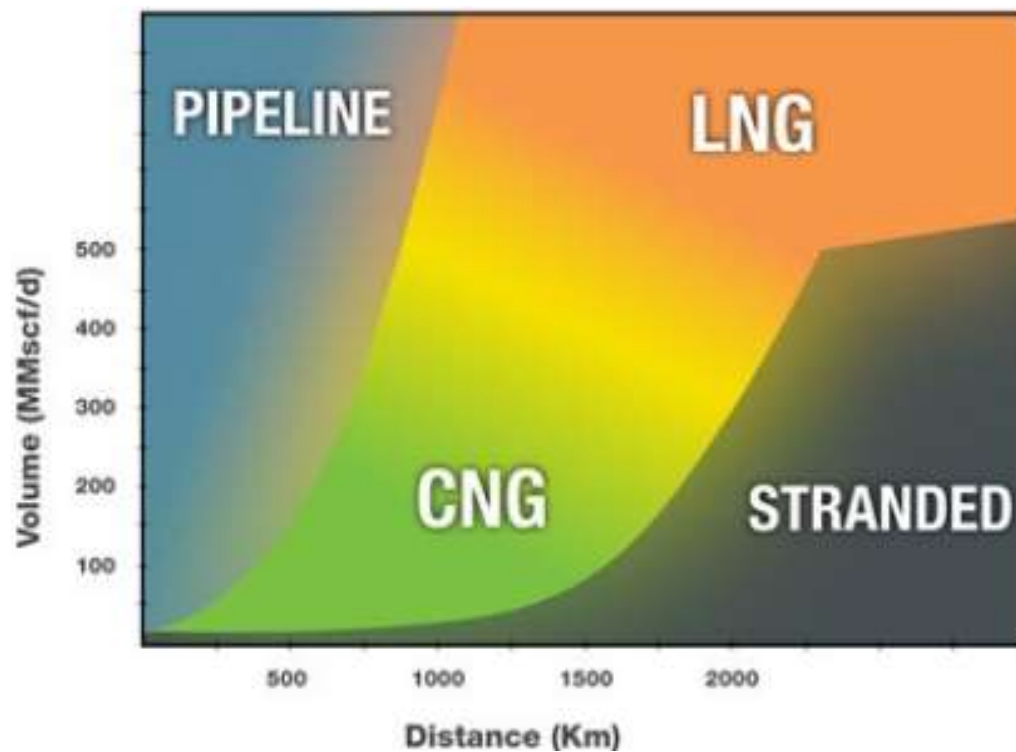








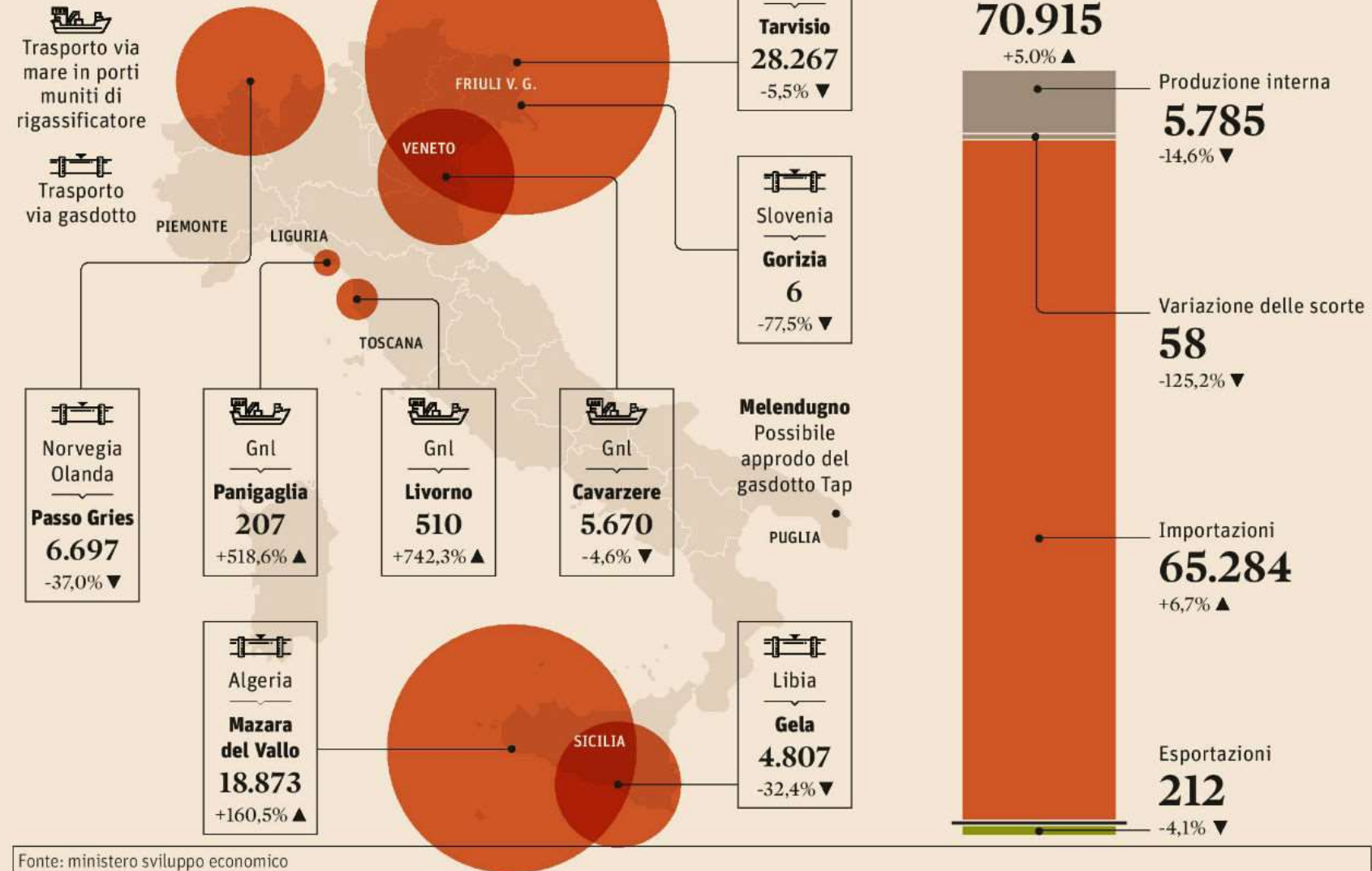
TRASPORTO GAS NATURALE



Il bilancio del gas naturale in Italia

I PRINCIPALI PUNTI D'INGRESSO

Dati gennaio-dicembre 2016 in milioni di metri cubi e variazione % sul 2015

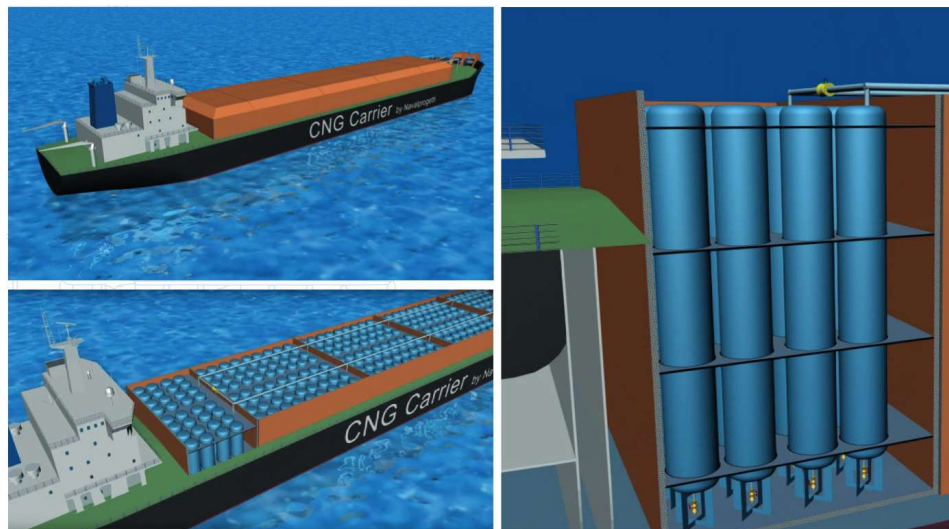


SISTEMI DI STOCCAGGIO

STOCCAGGIO DEL GAS NATURALE

CNG

(Compressed Natural Gas)



LNG

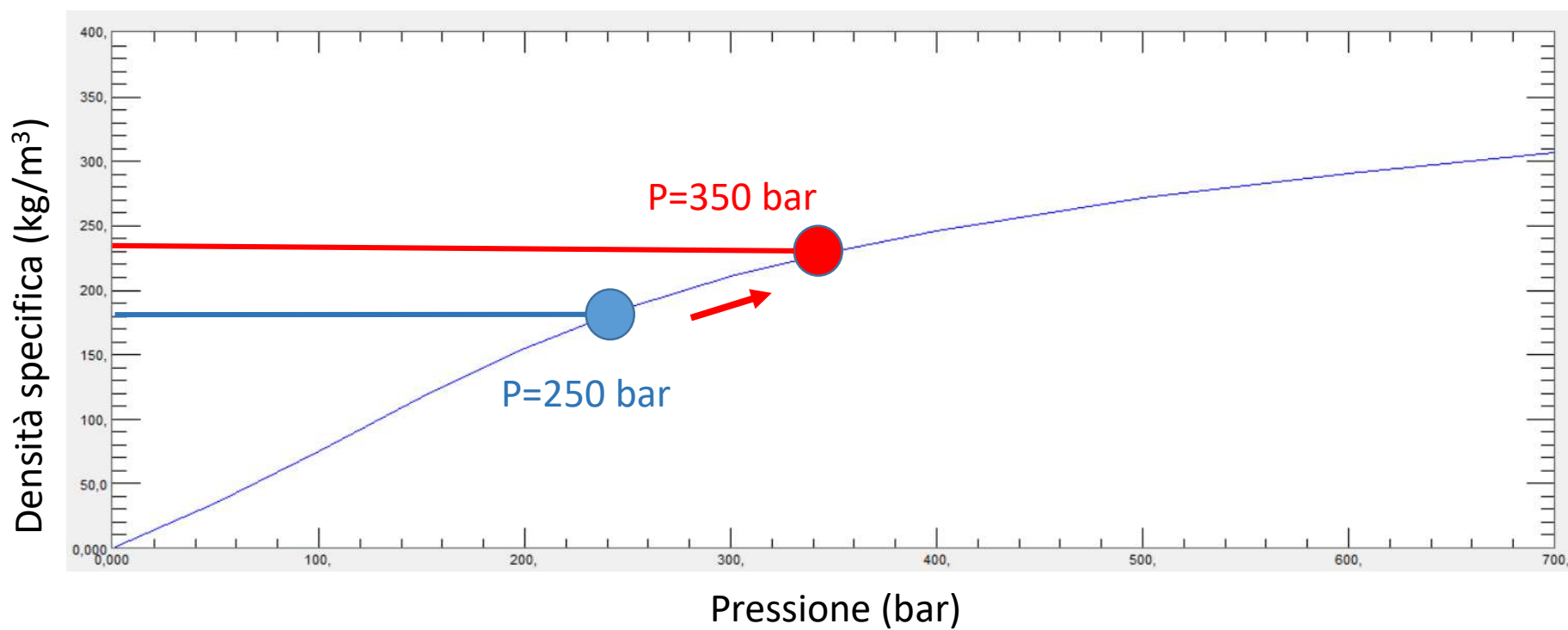
(Liquified Natural Gas)



CNG

GAS NATURALE COMPRESSO

Densità in funzione della pressione per gas metano a $T = 300\text{ K}$



TANK PER GAS NATURALE COMPRESSO

Type 1 CNG Tank



- Costruito interamente in acciaio;
- Molto pesante.

Type 2 CNG Tank



- Struttura in acciaio;
- Materiale composito arrotolato;
- 25 % più leggero di Type 1.

Type 3 CNG Tank



- Liner di alluminio e mantello di materiale composito;
- Risparmio significativo di peso.

Type 4 CNG Tank

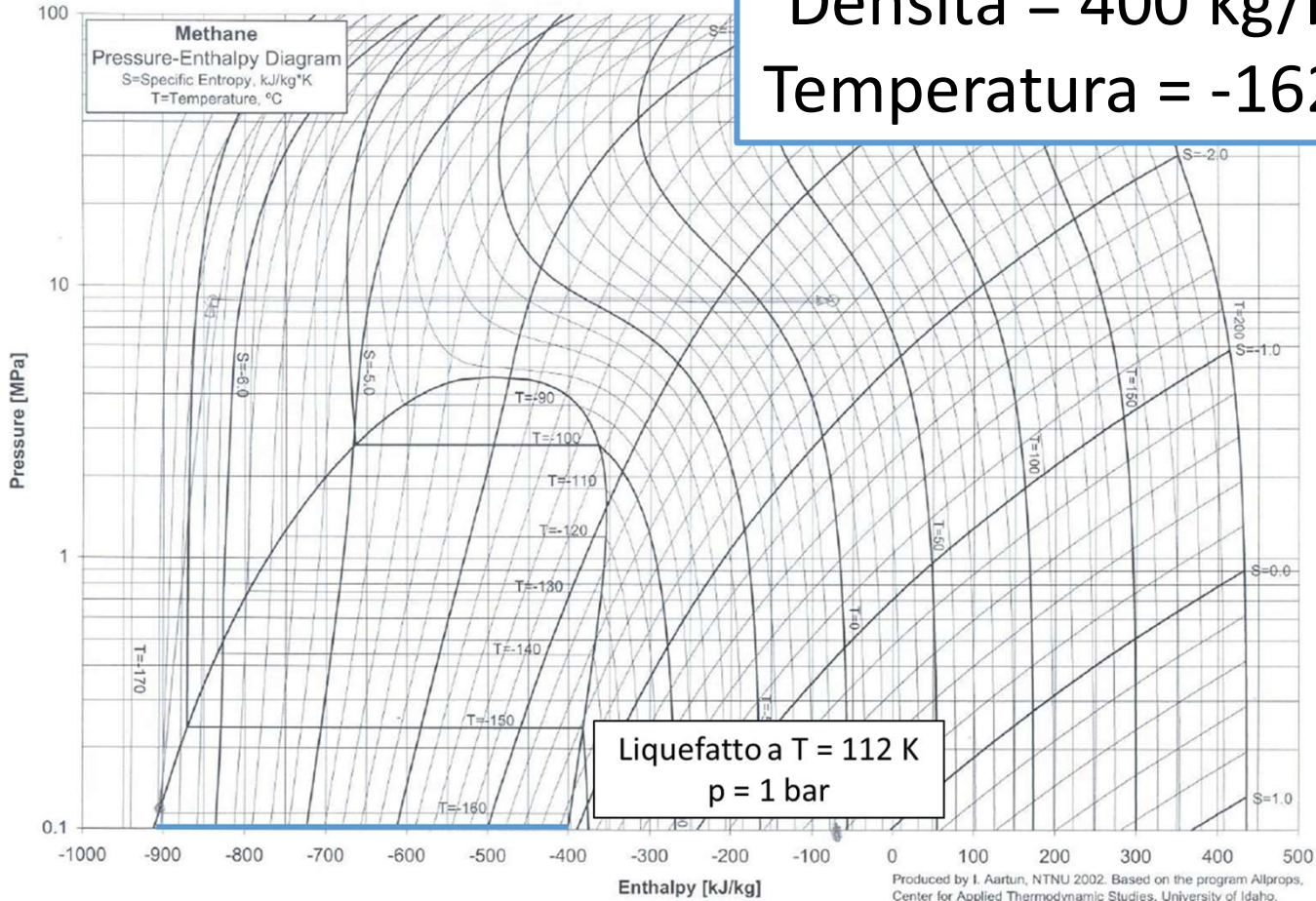


- Liner di polietilene e mantello di materiale composito;
- Risparmio significativo di peso.

LNG

GAS NATURALE LIQUEFATTO

Densità = 400 kg/m³
Temperatura = -162 °C



COMPOSIZIONE GAS NATURALE LIQUEFATTO

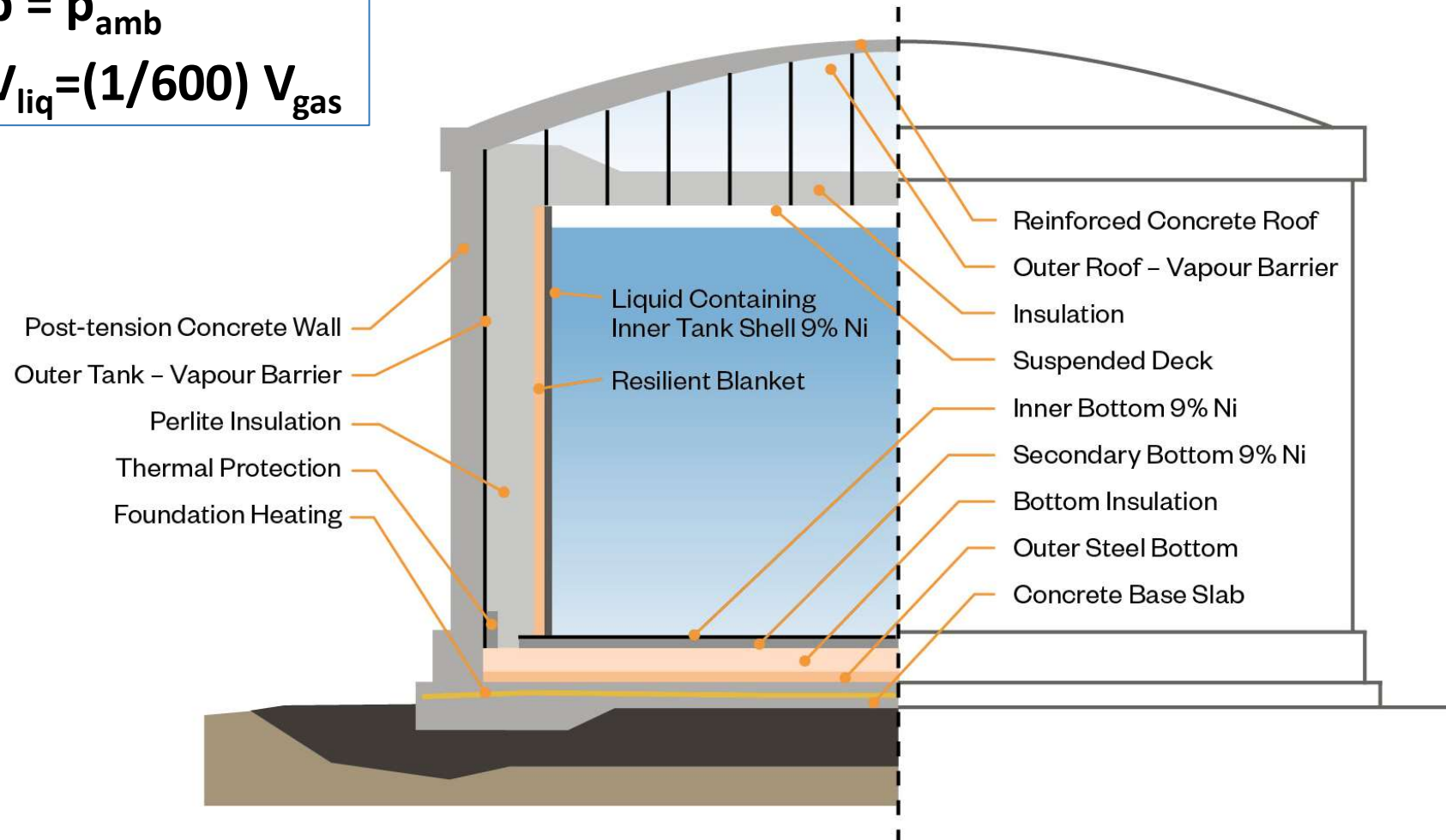
| Terminal | Methane | Ethane | Propane | Butane | Nitrogen |
|-----------|---------|--------|---------|--------|----------|
| Abu Dhabi | 87.07 | 11.41 | 1.27 | 0.14 | 0.11 |
| Alaska | 99.80 | 0.10 | N.A. | N.A. | N.A. |
| Algeria | 91.40 | 7.87 | 0.44 | 0.00 | 0.28 |
| Australia | 87.82 | 8.30 | 2.98 | 0.88 | 0.01 |
| Brunei | 89.40 | 6.30 | 2.80 | 1.30 | 0.00 |
| Indonesia | 90.60 | 6.00 | 2.48 | 0.82 | 0.09 |
| Malaysia | 91.15 | 4.28 | 2.87 | 1.36 | 0.32 |
| Oman | 87.66 | 9.72 | 2.04 | 0.69 | 0.00 |
| Qatar | 89.87 | 6.65 | 2.30 | 0.98 | 0.19 |
| Trinidad | 92.26 | 6.39 | 0.91 | 0.43 | 0.00 |
| Nigeria | 91.60 | 4.60 | 2.40 | 1.30 | 0.10 |

GAS NATURALE LIQUEFATTO

$$T = 112 \text{ K}$$

$$p = p_{\text{amb}}$$

$$V_{\text{liq}} = (1/600) V_{\text{gas}}$$



GAS NATURALE LIQUEFATTO

Primary barrier:

Self supporting IMO independent tank type A.
Material Stainless steel of 9% nickel steel.

Secondary barrier:

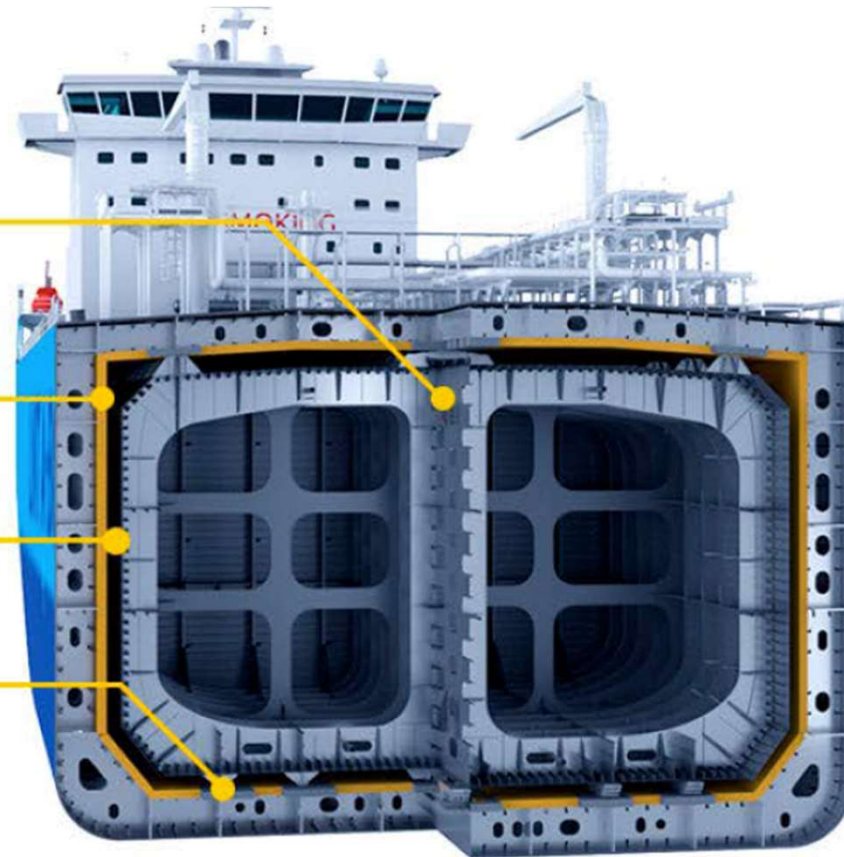
Liquid tight thermal insulation.
Based on polyurethane foam panels.

Interbarrier space:

Accessible space between tank and insulation.

Cargo tank support:

conventional cargo tank support system.



Fenomeni da controllare:

- **Boil-off gas:** gas prodotto dall'evaporazione del liquido criogenico.
- **Stratificazione:** disposizione naturale delle componenti di LNG in base a densità specifica.
- **Roll-over:** fenomeno di mescolamento brusco degli strati a differente densità. Esso provoca aumento del tasso di evaporazione e conseguente aumento della pressione.

GAS NATURALE LIQUEFATTO

Tecniche per ridurre il boil-off:

1. Mescolamento meccanico del LNG in modo da evitare fenomeni di stratificazione.
2. Adeguato isolamento dei serbatoi per ridurre al minimo lo scambio termico con esterno.
3. Utilizzo di ugelli che nebulizzano una parte di LNG nella parte superiore del serbatoio in modo da raffreddarne il contenuto.
4. Rimozione di parte del boil-off gas in modo da evitare l'aumento di pressione che favorirebbe ulteriormente il fenomeno di evaporazione.

TASSO DI EVAPORAZIONE = 0,1 % del volume al giorno

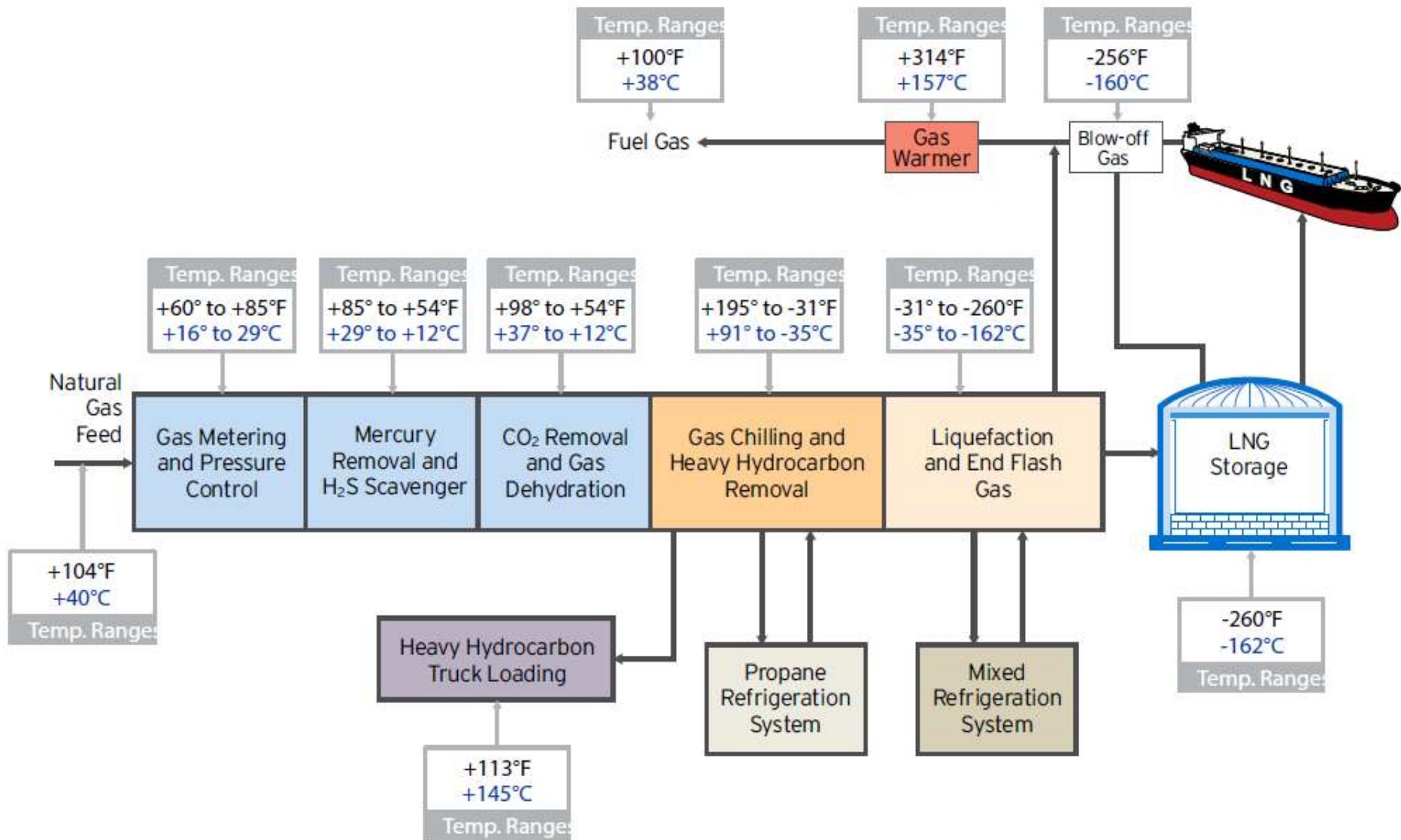
Boil-off gas può essere:

- Utilizzato direttamente per alimentare **unità di conversione energetica** (es. motori, boiler, ecc.);
- **Re-liquefatto.**

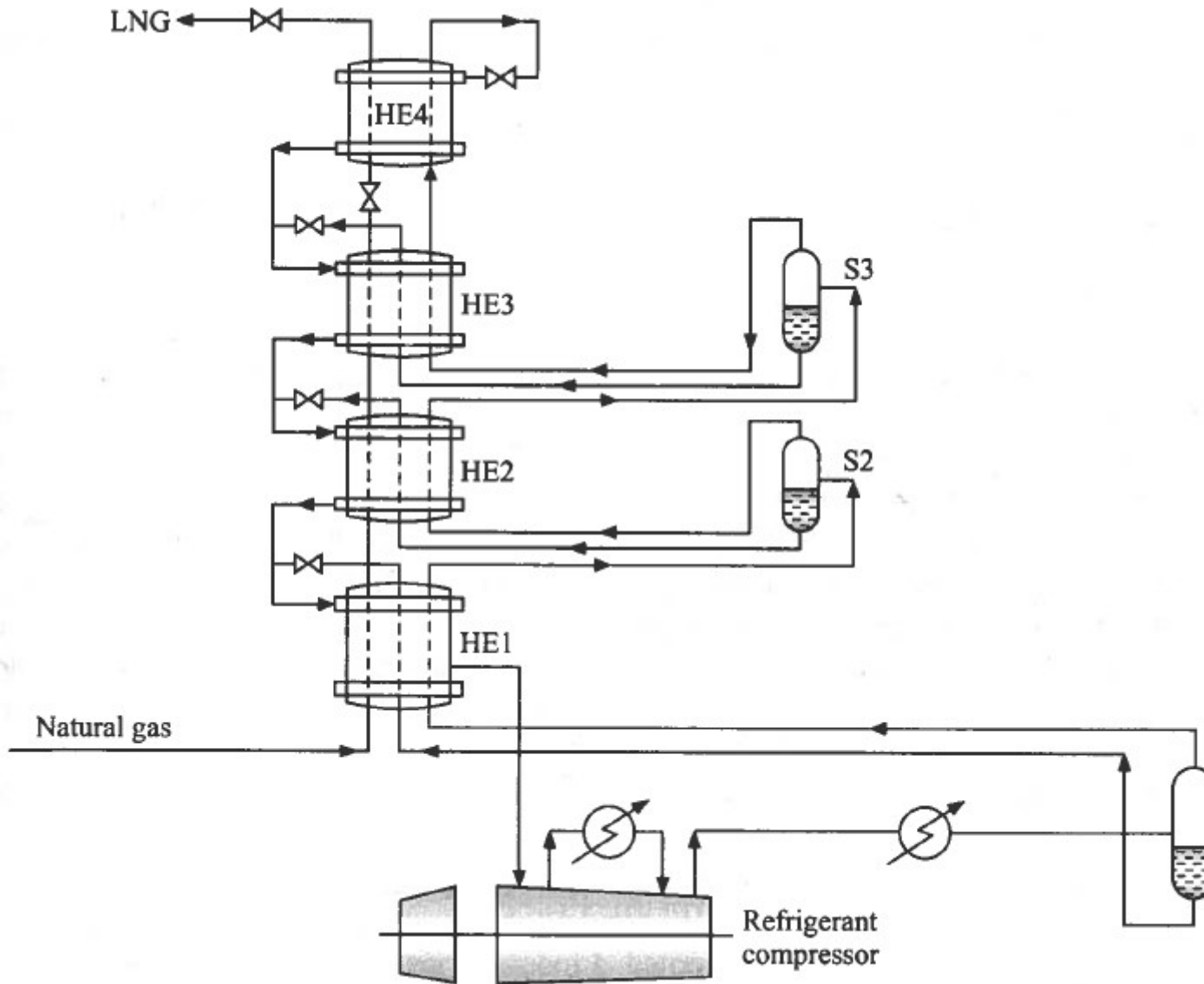
La scelta impiantistica da adottare dipende essenzialmente dalla quantità di boil-off gas prodotto durante il trasporto

PROCESSO DI LIQUEFAZIONE

PROCESSO DI LIQUEFAZIONE DEL GAS NATURALE



MULTICOMPONENT REFRIGERANT (MCR) PROCESS



En. richiesta $< 250 \text{ kWh/t}_{\text{LNG}}$

$3,5 \text{ mtpa} < \text{Cap. liq.} < 8 \text{ mtpa}$



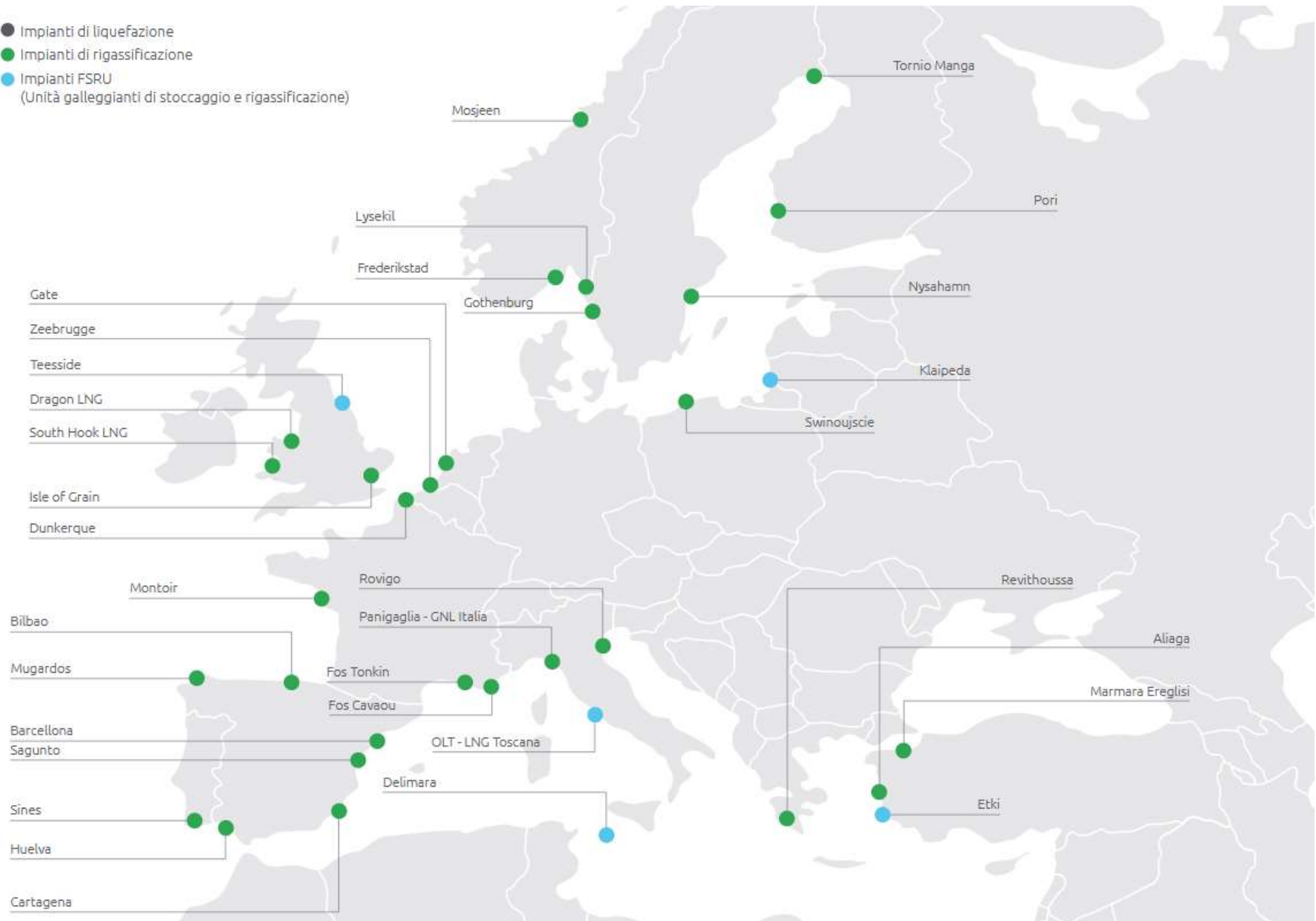
PROCESSO DI LIQUEFAZIONE DEL GAS NATURALE

I processi con ciclo utilizzante **refrigerante misto e pre-raffreddamento a propano** rappresentano **più del 90 %** degli impianti di liquefazione di gas naturale.

| Perdita di efficienza nella linea di produzione LNG | |
|---|---|
| Fasi della produzione | Perdita percentuale rispetto a gas naturale in ingresso |
| Liquefazione gas | Dall' 8 al 10 % |
| Shipping | Dal 0,15 al 0,3 % |
| Rigassificazione | Dal 2 al 2,5 % |

PROCESSO DI RIGASSIFICAZIONE

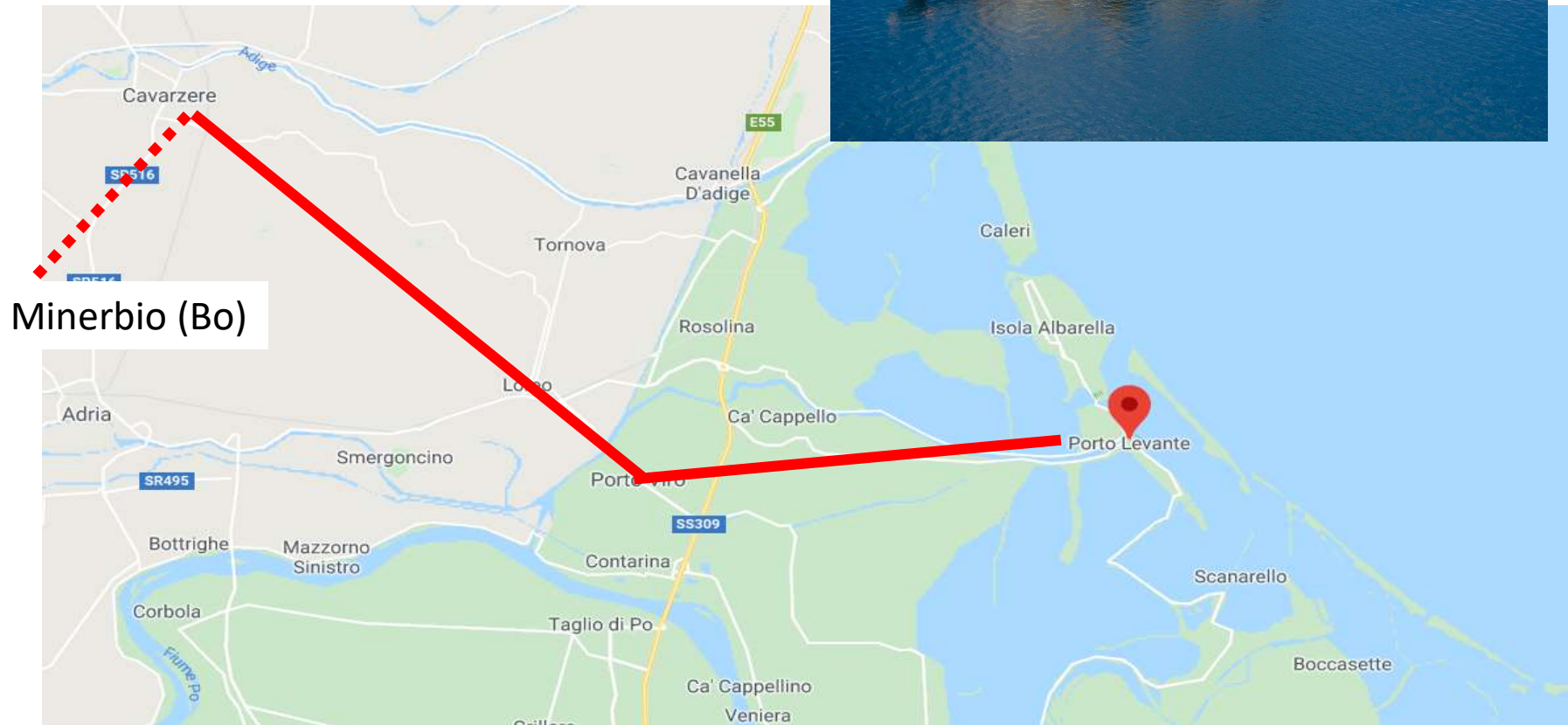
- Impianti di liquefazione
- Impianti di rigassificazione
- Impianti FSRU
(Unità galleggianti di stoccaggio e rigassificazione)



GAS NATURALE LIQUEFATTO

Terminale GNL Adriatico

$C_{\max} = 8$ miliardi di Nm³/anno



GAS NATURALE LIQUEFATTO

Rigassificatore di Panigaglia (La Spezia)

C_{\max} = 4 miliardi di Nm³/anno



GAS NATURALE LIQUEFATTO

OLT Offshore LNG Toscana

$C_{\max} = 3,75$ miliardi di Nm³/anno



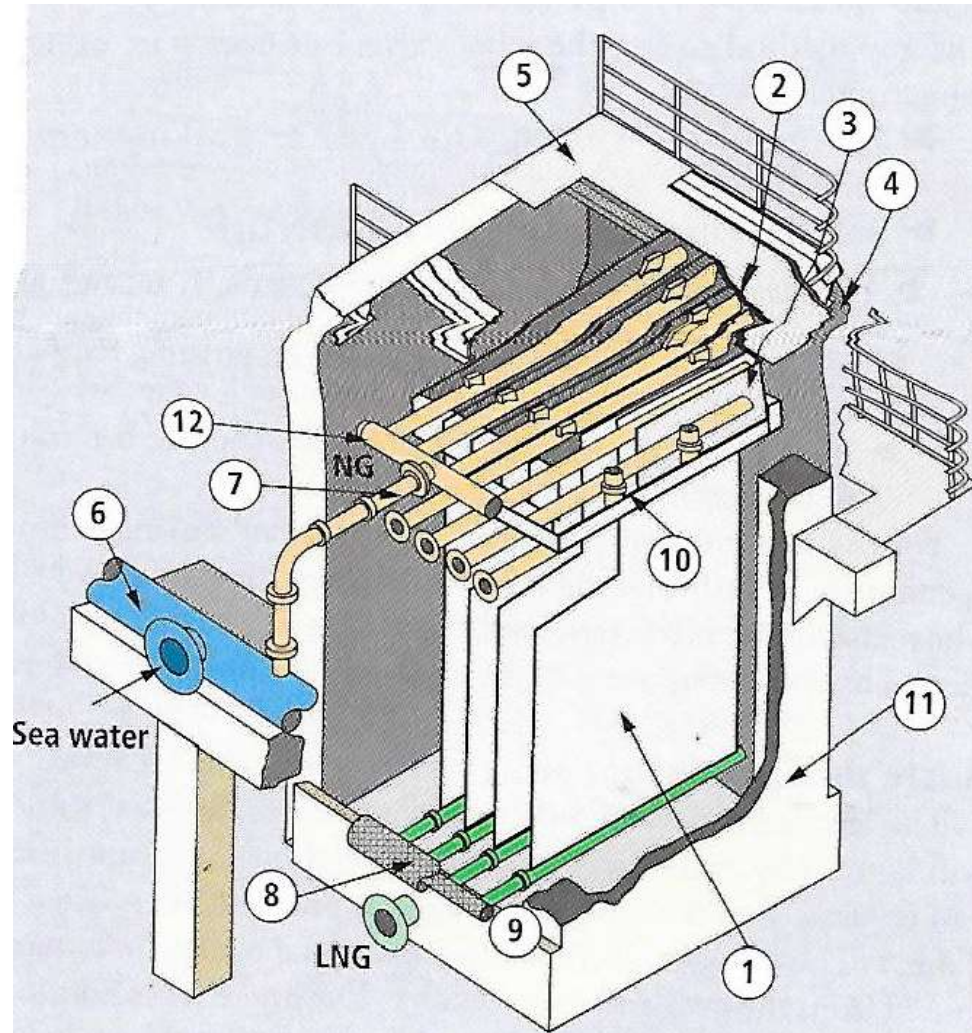
GAS NATURALE LIQUEFATTO

OLT Offshore LNG Toscana



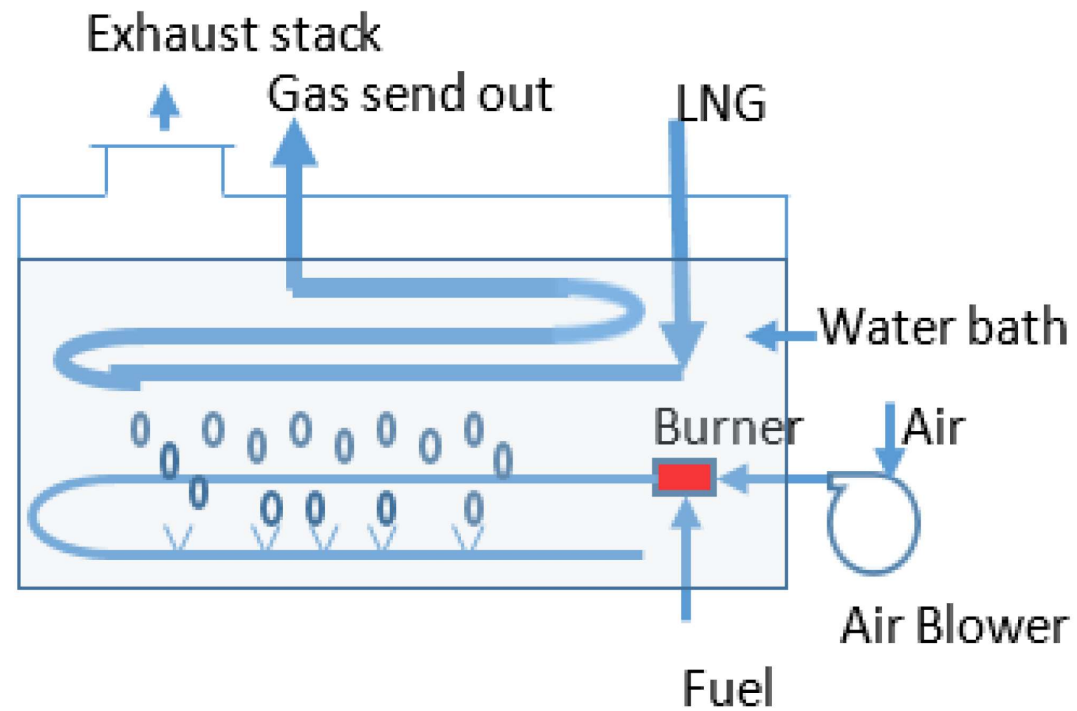
<https://www.youtube.com/watch?v=knQhSf73MN0&feature=youtu.be>

VAPORIZZATORE A OPEN-RACK

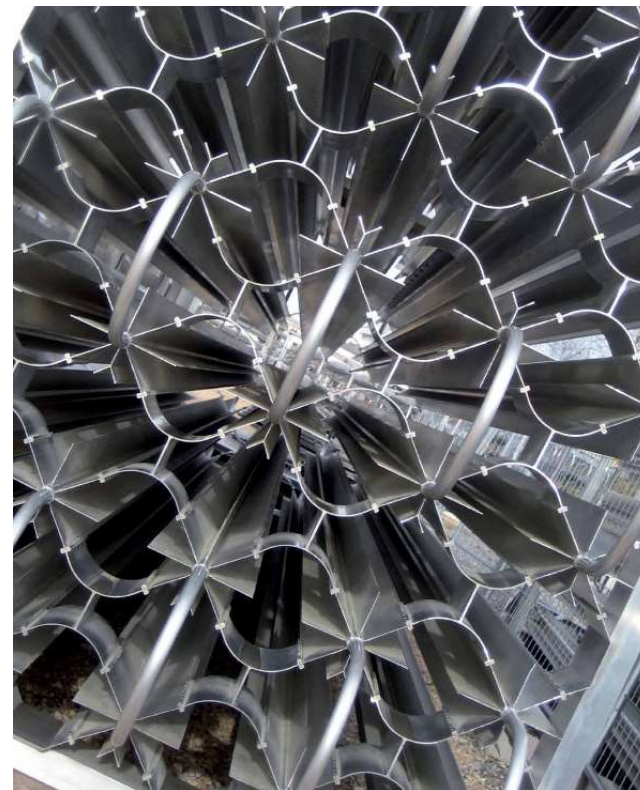


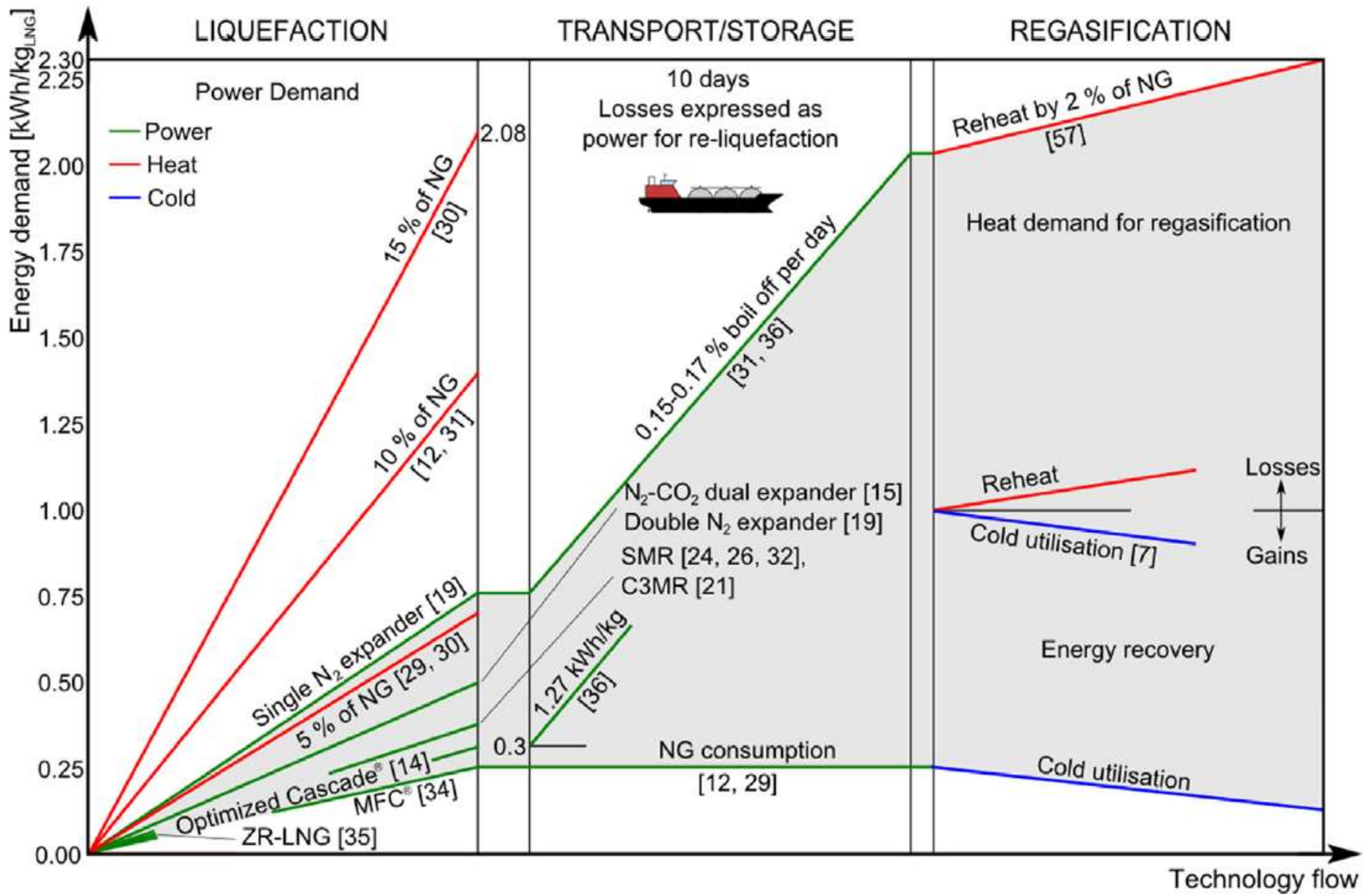
1. Heat transfer tubes;
2. Double-face trickling through;
3. Single-face trickling through;
4. Wind shield;
5. Support structure;
6. Sea water inlet manifold;
7. Sea water header;
8. Insulation;
9. LNG inlet manifold;
10. Sea water header;
11. Concrete foundation;
12. LNG outlet manifold;

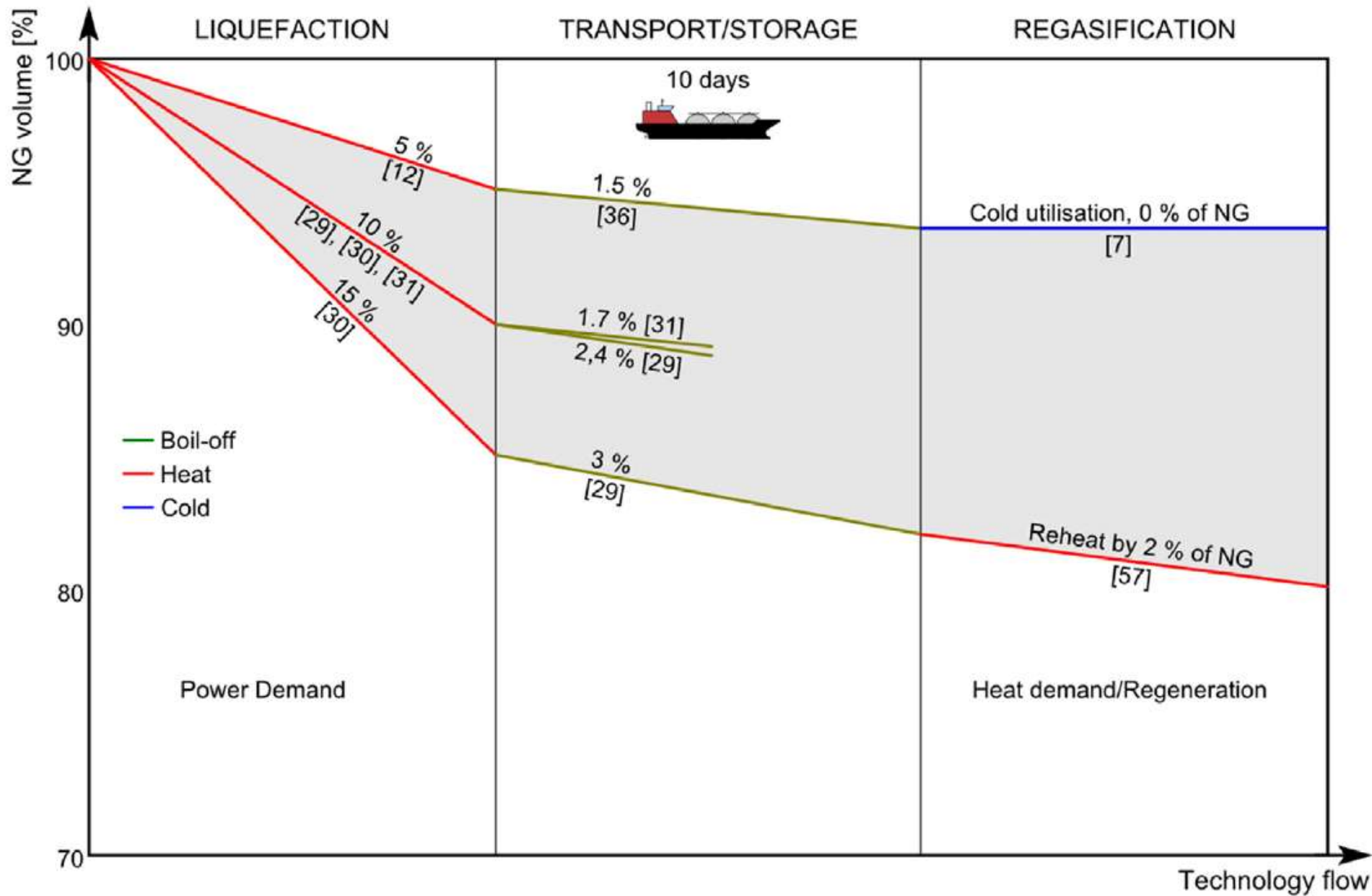
VAPORIZZATORE A COMBUSTIONE SOMMERSA



VAPORIZZATORE AD ARIA







Grazie per l'attenzione



METANO

| Condizioni standard di riferimento | | |
|---|---------------------------------|-----------------------------------|
| Temperatura = 15°C | Pressione = 1013,25 mbar | |
| Potere calorifico superiore | 9100 | Kcal/Stm ³ |
| Potere calorifico inferiore | 8250 | Kcal/Stm ³ |
| Peso specifico teorico | 0,713 | Kg/Stm ³ |
| Densità rispetto all'aria | 0,551 | |
| Temperatura di liquefazione | -161,52 | °C |
| Temperatura d'accensione | 540 c.ca | °C |
| Temperatura critica | -83 (-82,62) | °C |
| Pressione critica | 46-47 (45,96) | Bar |
| Limite d'esplosività (*) | 4,5 - 15 | % |
| Aria per la combustione (stechiometrica) | 10 | m ³ /Stm ³ |
| Velocità di propagazione di fiamma | 30 - 37 | cm/s |
| Cp = Calore specifico a press. costante | 0,532 | kcal/kg °K |
| R = costante del gas 518,46 J/Kg °K | 52,85 | m ² /s ² °K |
| Massa Molecolare | 16,042 | grammo-mole |
| Intercambiabilità dei gas - L'indice di Wobbe | 12.160 | Kcal / Stm ³ |
| Effetto esplosivo pari a circa 6 volte il volume dei p.d.c. | | |

PROCESSO DI LIQUEFAZIONE DEL GAS NATURALE

