



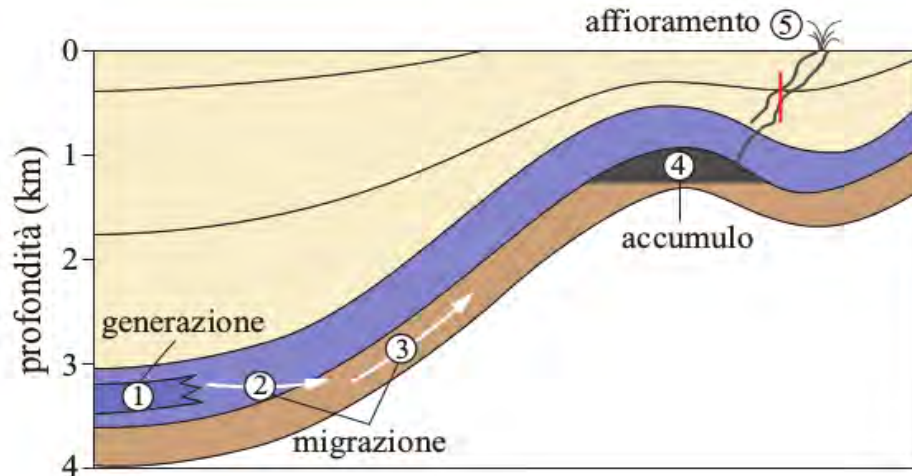
*Seminario pilota
“Formazione GNL”
VGR 2016*



Piacenza 16 maggio 2016

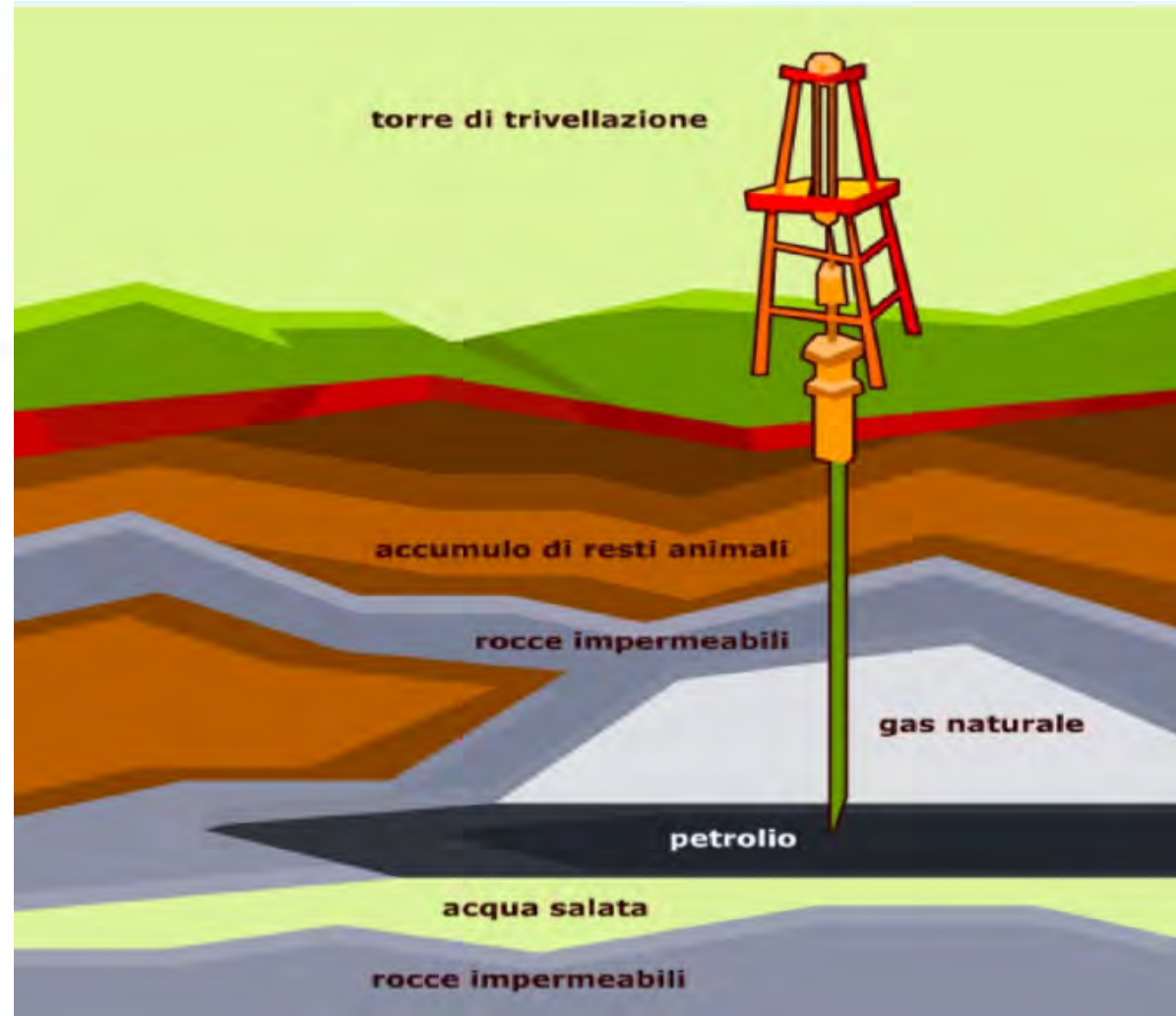
Storia, Utilizzazione, Penetrazione, filiera del Gas Naturale Liquefatto (GNL)

Gas Naturale e Petrolio (Oil and Gas)



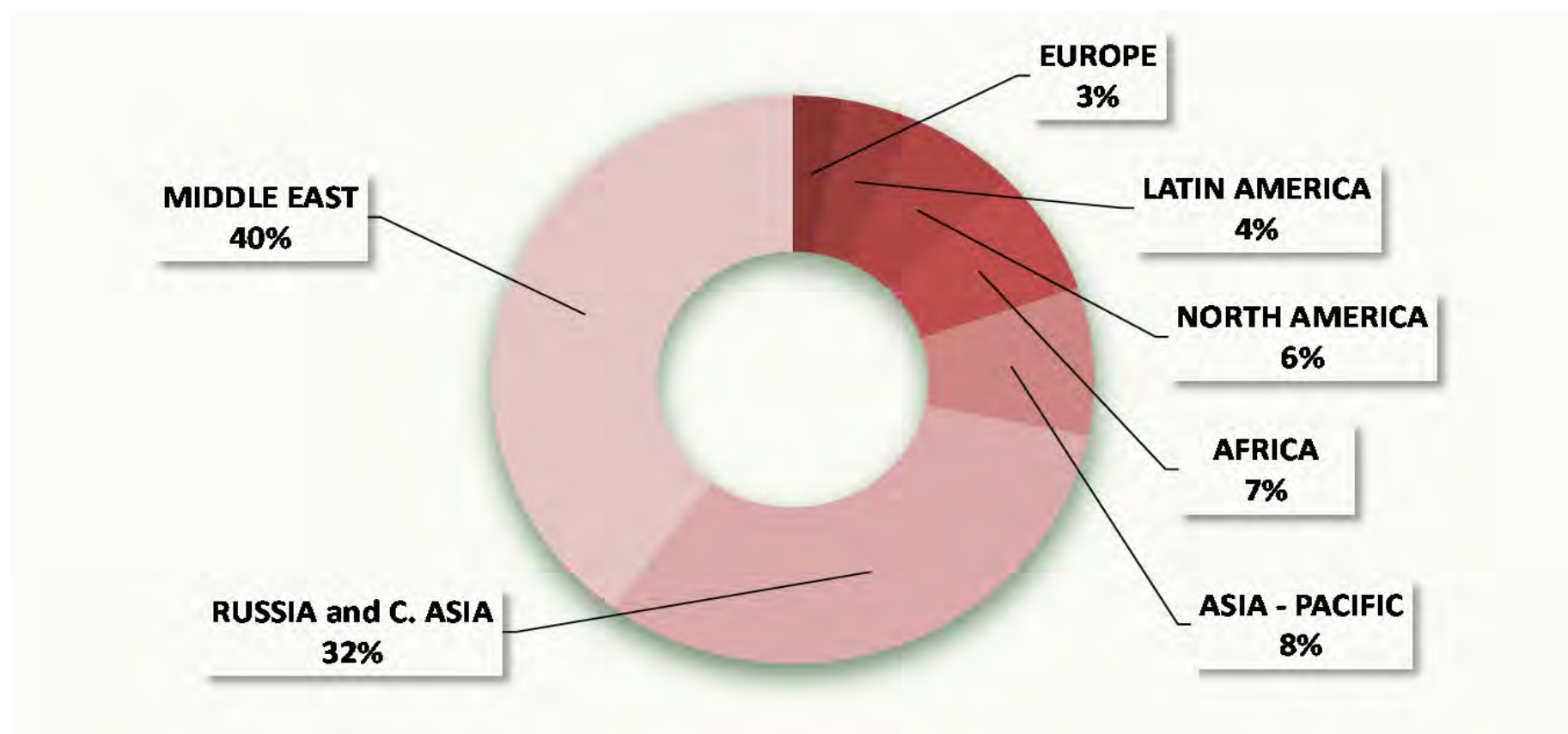
Il Gas Naturale (GN) è una miscela di idrocarburi a basso peso molecolare, il componente principale è il metano (CH_4 al 70--99%), altri componenti secondari sono etano ($\text{CH}_3 \text{CH}_3$), propano ($\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{CH}_3$) e butano ($\text{CH}_3 \text{CH}_2 \text{CH}_2 \text{CH}_3$) e corrispondenti isomeri e/o composti insaturi.

Il GN si trova per la maggior parte disciolto nel petrolio grezzo o intrappolato nella crosta terrestre (esistono immense riserve di gas naturale non convenzionale, i gas idrati, abbandonati nei sedimenti marini e nelle aree a Nord del pianeta: Siberia e Alaska) Il gas naturale ed il petrolio spesso si trovano negli stessi giacimenti, in quanto il processo di formazione del gas naturale è identica a quella del petrolio.



Riserve di gas

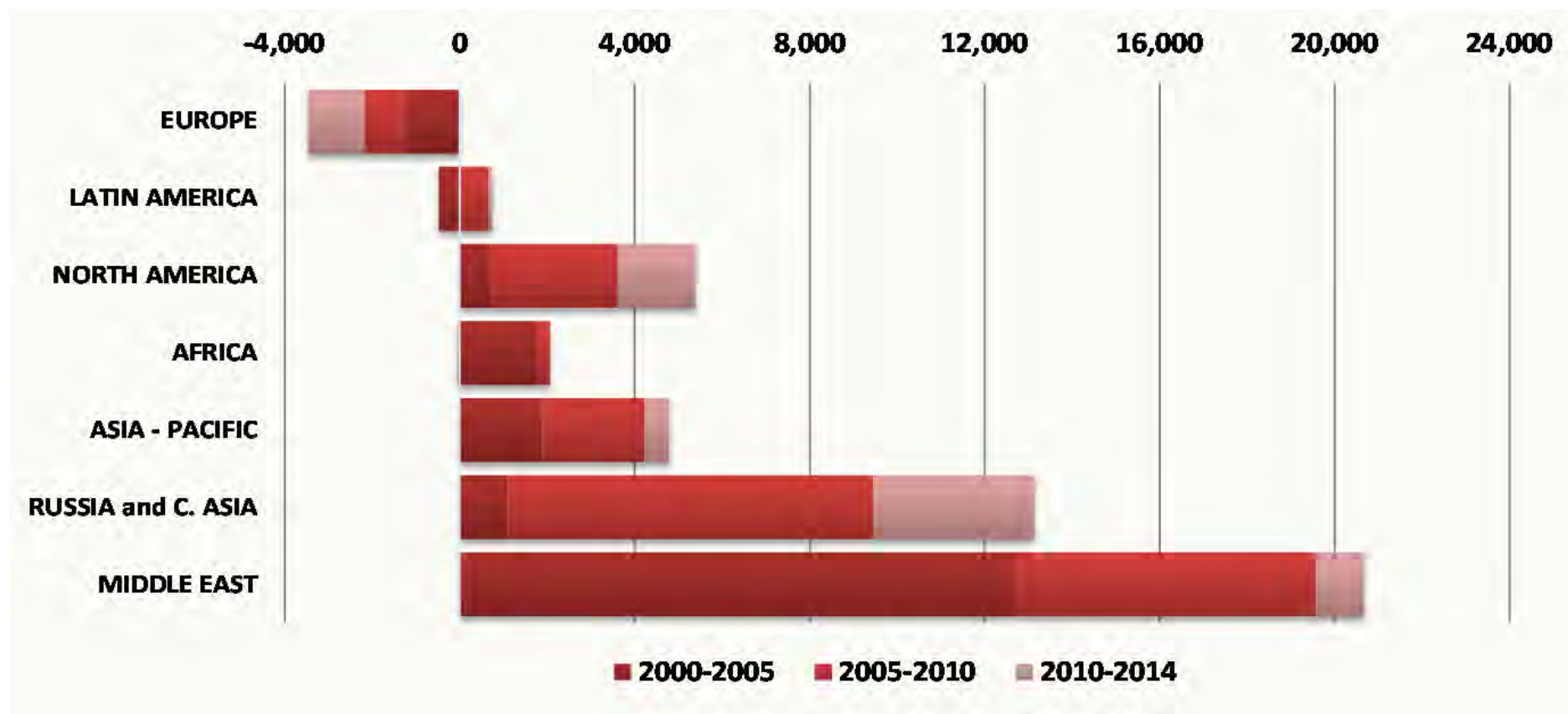
World Natural Gas Reserves (2014)
201,771 billion cubic metres as at 31st December



Crescita delle riserve di gas

World Natural Gas Reserves Growth (2000-2014)

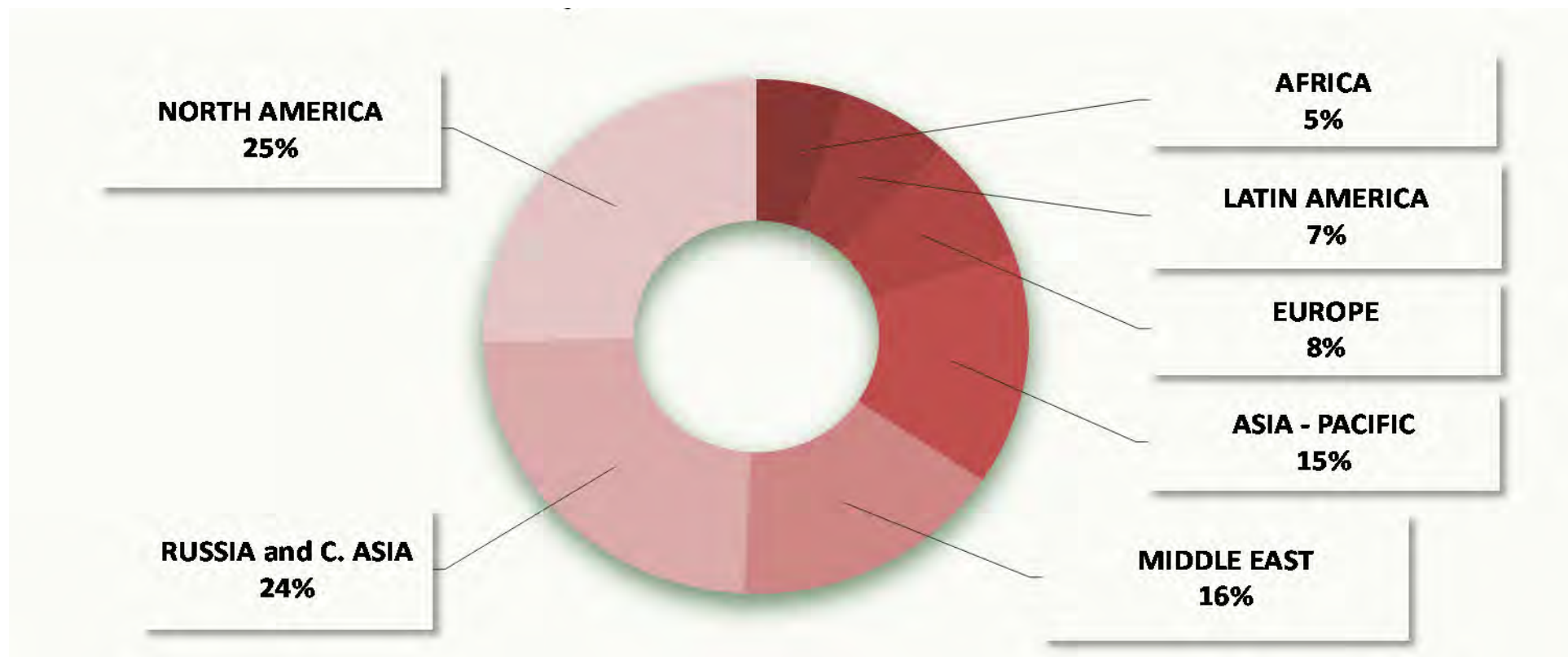
42,788 billion cubic metres as at 31st December



Produzione di Gas nel Mondo

World Natural Gas Production (2014)

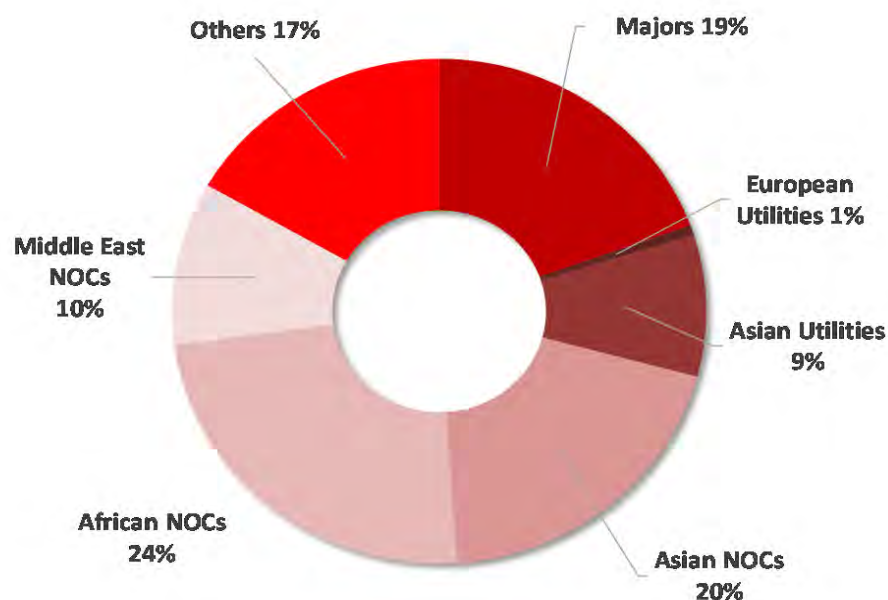
3,474.46 billion cubic metres



Capacità di liquefazione

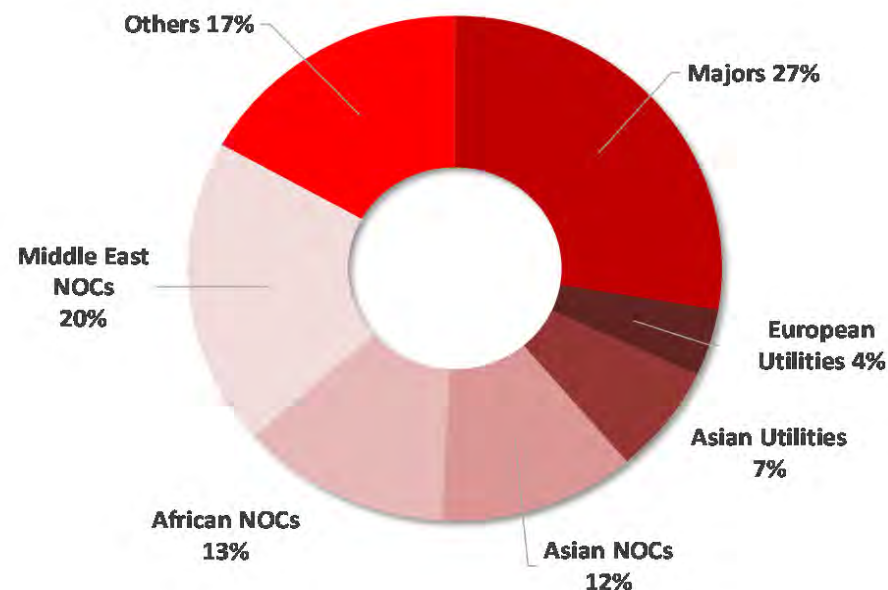
2000

World: 164.9 billion cubic metres



2014

World: 383.4 billion cubic metres



Gas Naturale: GN, CNG, GNL

Gas Naturale (GN)

“miscela complessa di idrocarburi, composta principalmente da metano, ma che generalmente include, quantità sensibilmente minori di etano, propano e idrocarburi superiori e alcuni gas non combustibili come ad esempio azoto e anidride carbonica”

Norma UNI EN ISO 14532

“Vocabolario del Gas Naturale”

Gas Naturale Compresso (CNG)

“gas naturale usato come carburante per veicoli: tipicamente viene compresso allo stato gassoso fino a 20000 kPa”

Norma UNI EN ISO 14532

“Vocabolario del Gas Naturale”

Gas Naturale Liquefatto (GNL o LNG)

“è un fluido criogenico incolore ed inodore alla pressione normale composto prevalentemente da metano che può contenere quantità minori di etano, propano, butano, azoto o altri componenti che possono essere normalmente trovati nel gas naturale”

Norma UNI EN ISO 16903

“Caratteristiche del GNL che influenzano la progettazione e scelta dei materiali”

GNL: alcune caratteristiche

Il GNL è “compatto”

1m³ di GNL a P pressochè atmosferica e a -160 °C circa corrisponde a

circa 3 m³ di CNG
P=200 bar T=ambiente

600 m³ di gas naturale
alle condizioni standard
P=1 bar T= 15 °C

Il GNL ha “elevata densità energetica”

1 litro di GNL ha lo stesso contenuto energetico di

0.6 litri di gasolio

3.1 litri di CNG

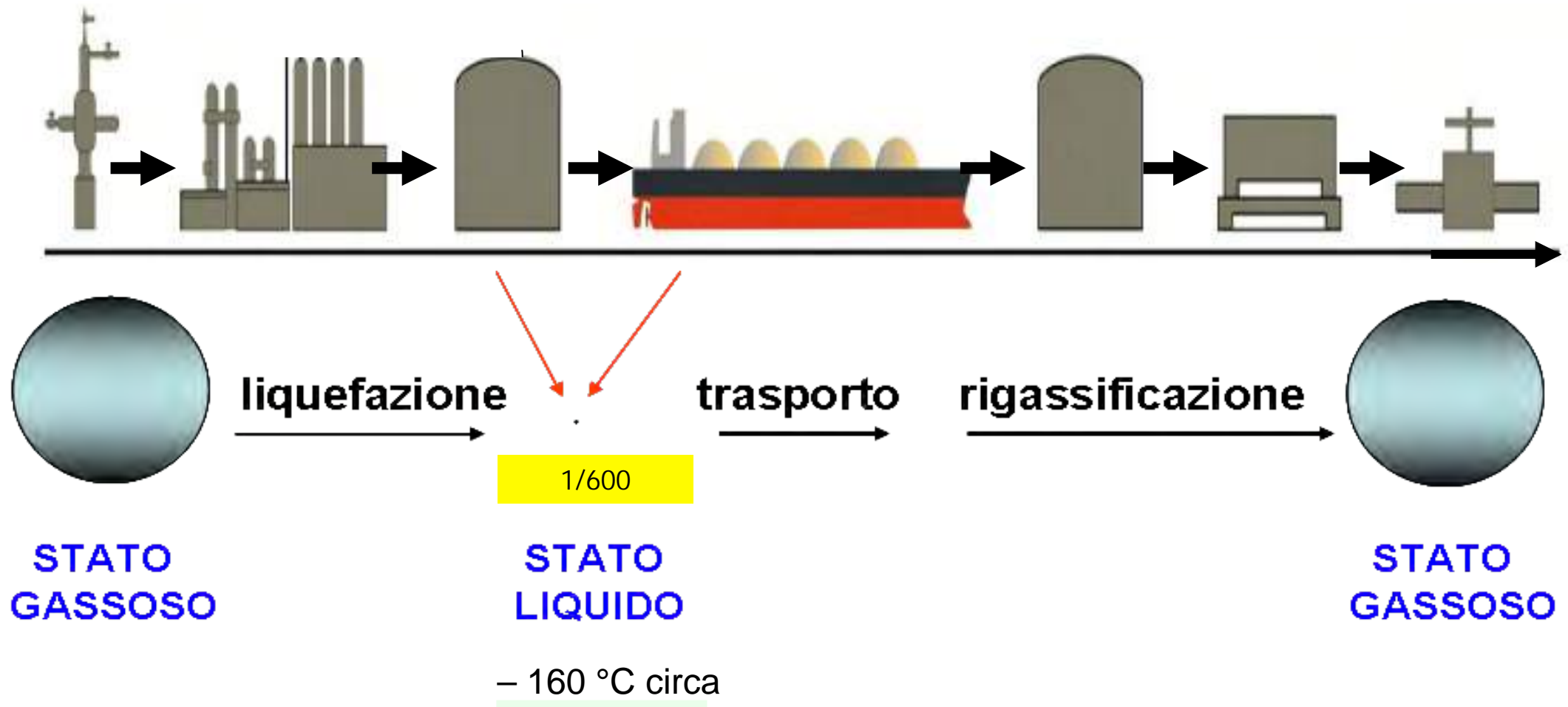
Fonte NGVA Europe 2013

FILIERA GNL: stati fisici del GNL

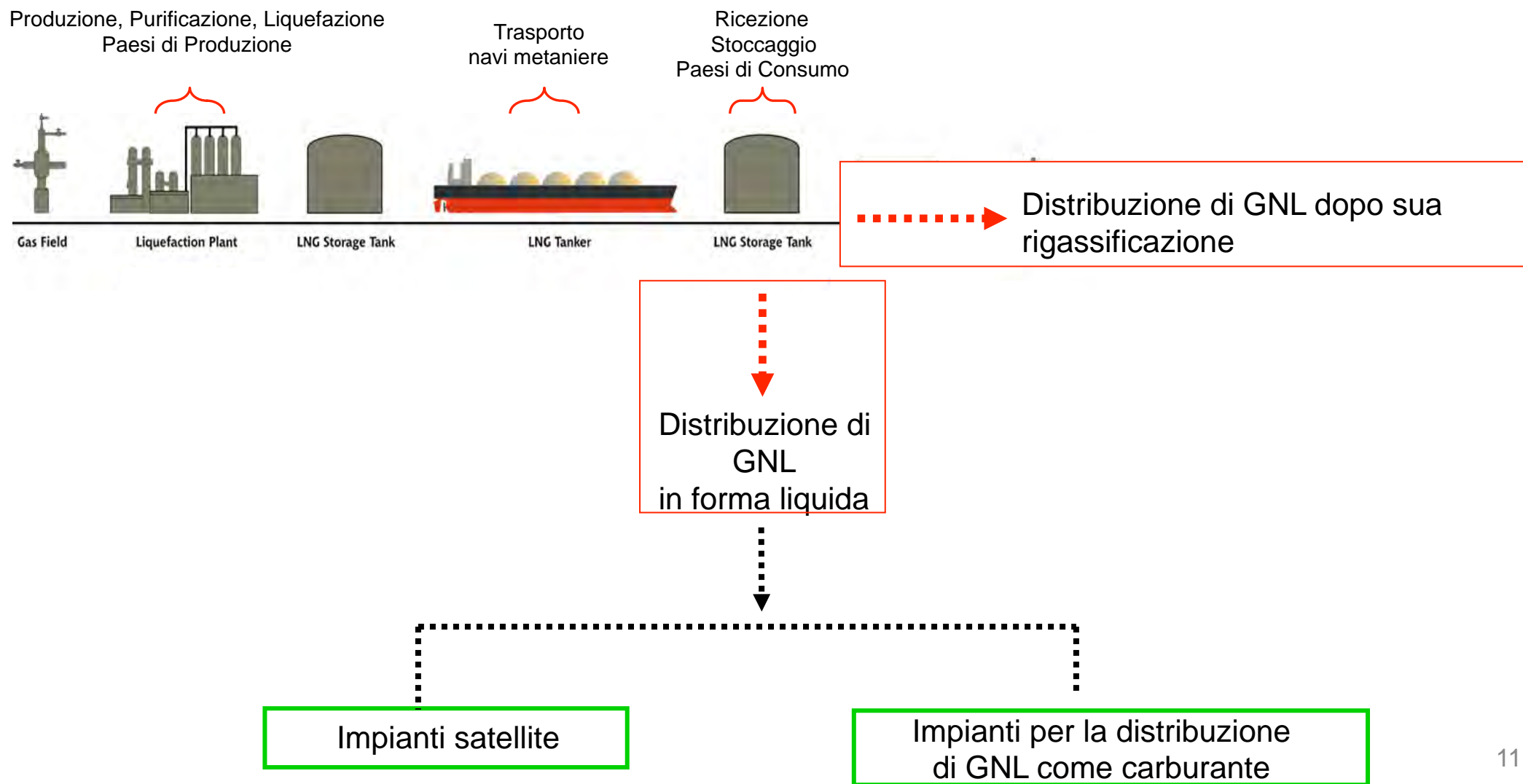
GAS

LIQUIDO

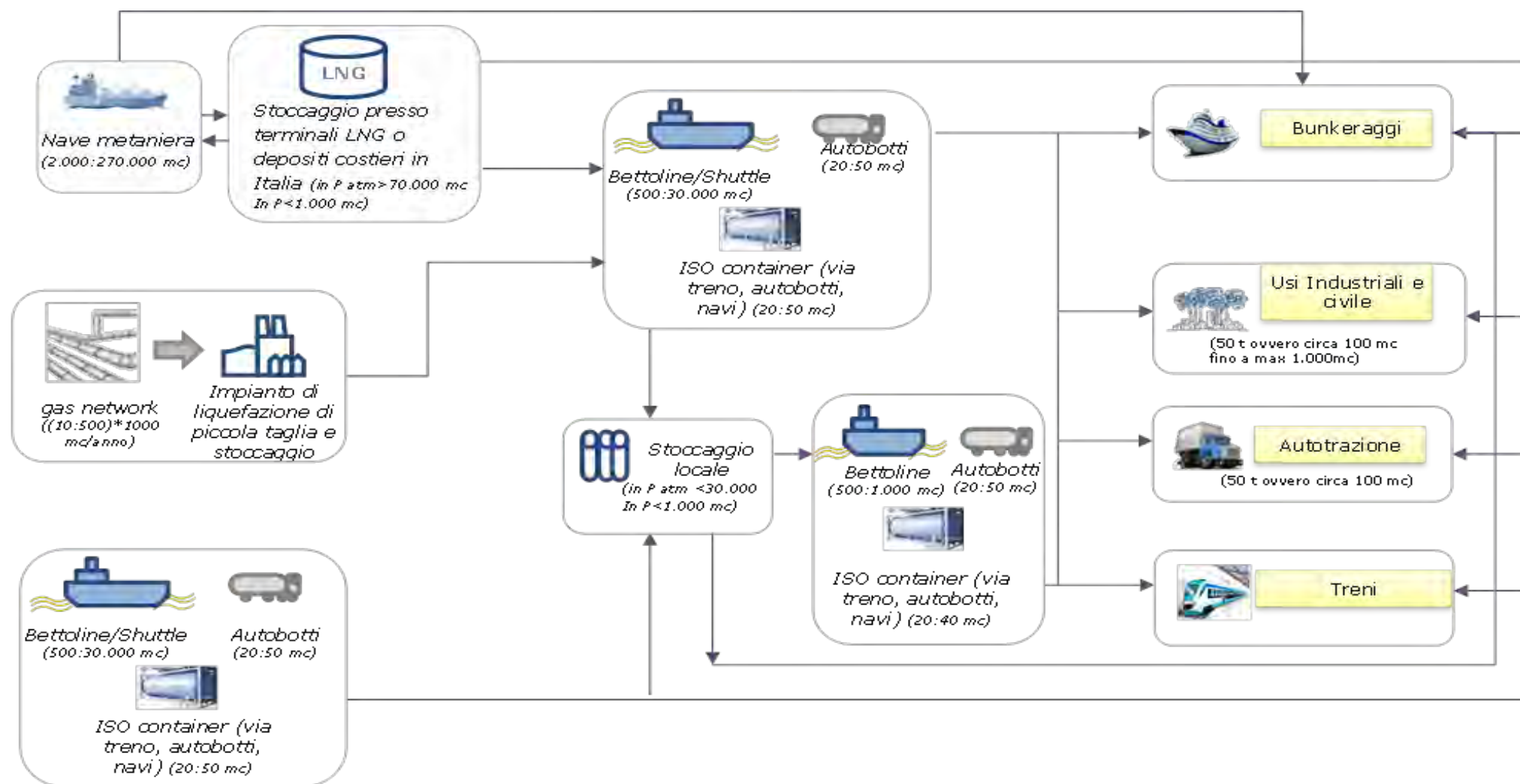
GAS



FILIERA GNL



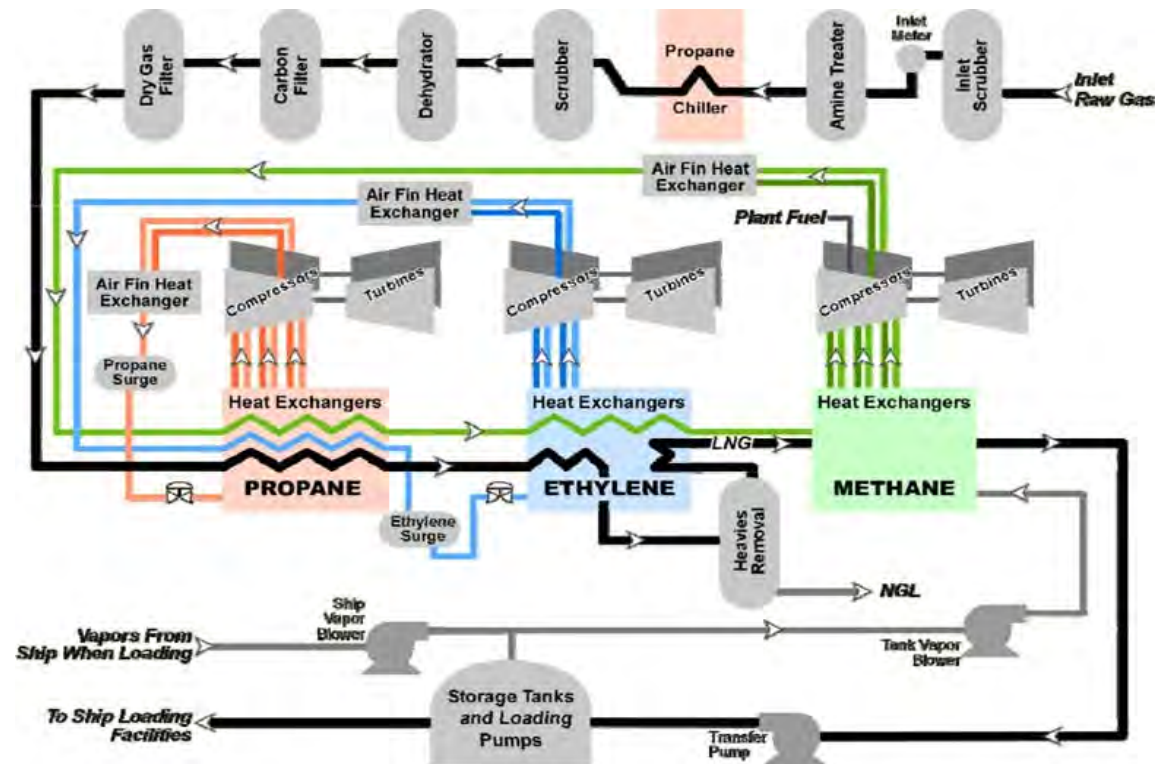
FILIERA GNL (nei paesi di consumo)



Impianti di liquefazione

Il Gas Naturale, prima di poter essere liquefatto per raffreddamento e diventare GNL, deve essere purificato da quei componenti/impurità che potrebbero creare malfunzionamenti all'impianto di liquefazione o solidificare alle basse temperature necessarie allo stoccaggio (acqua, CO₂, Hg, composti solforati....)

Alla fine del processo di liquefazione, il volume originale del gas naturale si riduce di circa 600 volte e viene stoccato a circa -162°C a pressione pressoché atmosferica



Terminale di liquefazione e/o stoccaggio

Terminale di liquefazione di Trinidad de Tobago
(fonte www.repsol.com)

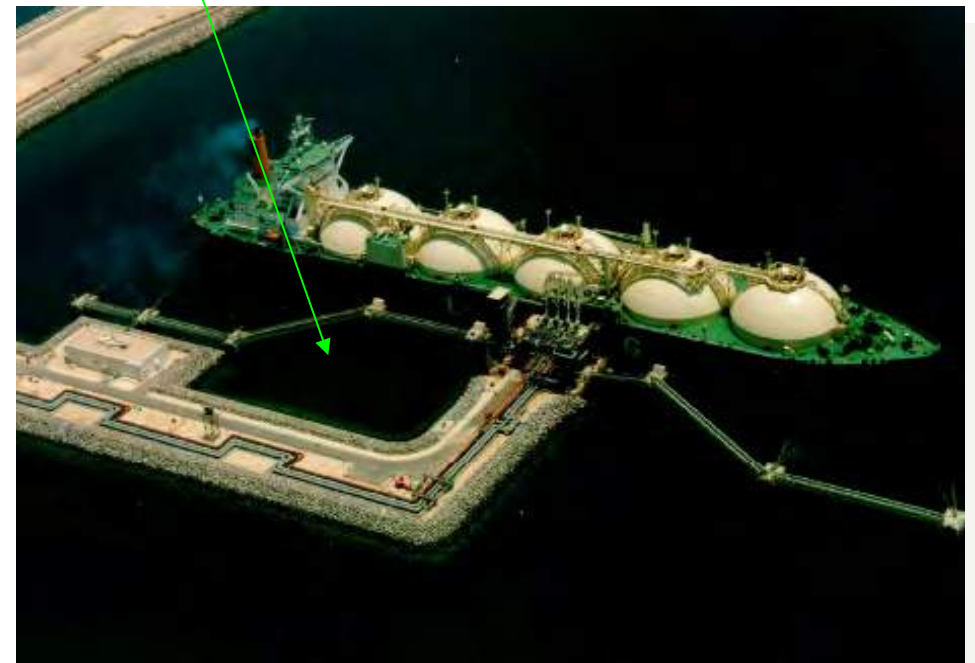


Grandi Stoccaggi
(~ 100.000- 1.000.00.000 m³)

- Centri di estrazione e liquefazione
- Stoccaggi per grande distribuzione
- Rigassificatori per distribuzione GN

Infrastrutture di trasferimento

Trasferimento del GNL: Infrastrutture di carico/scarico
bracci di carico e pontile



Qatar LNG Loading Facility

Trasporto di GNL.....un po' di storia

Godfrey Cabot ha brevettato nel 1915 un chiatta per trasporti fluviali di GNL. Il trasporto tramite gasdotti non erano ancora ampiamente sviluppato in quegli anni negli Stati Uniti e tale modalità di trasporto di GNL è stato proposto per essere utilizzato nel fiume Mississippi da Lake Charles, Louisiana, a Chicago, Illinois.

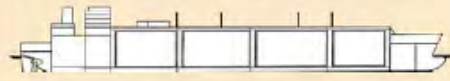
Nel 1960 un contratto di fornitura, di durata di 15 anni, per la spedizione di 100 milioni di piedi cubi di gas al giorno (circa 3 milioni di m³) dall'Algeria verso la Gran Bretagna di cui la metà verso la Francia, ha comportato il progetto e la costruzione di navi metaniere per il trasporto di GNL.

Nel 1964 le navi Methane Progress e Methane Princess, ognuna con una capacità di carico di 27.400 m³, hanno iniziato i loro viaggi settimanali dall'Algeria a Canvey Island

Trasporto di GNL.....un po' di immagini



Nave metaniera con
serbatoi a membrana



Nave metaniera con serbatoi sferici

In Italia: Terminali di Ricezione GNL/Rigassificazione



Terminale FSRU Livorno (135000 m3)



Terminale GBS Rovigo (250000 m3)



Terminale On-Shore Panigaglia (100000 m3)

Sostenibilità ambientale, caratteristiche del GNL
(chimiche, fisiche, ambientali, inquinamento, etc.)

Gas Naturale Liquefatto (GNL)

Le caratteristiche del **GNL** variano con la sua composizione che a sua volta varia in funzione della composizione del Gas Naturale (GN) da cui ha tratto origine

Il **GNL** si ottiene sottoponendo il GN ad un processo di **purificazione** e successiva **liquefazione**



La **liquefazione** riduce il volume del gas di partenza di circa **600 volte** nel passaggio da gas a liquido,



La **liquefazione** consente costi competitivi per il trasporto e lo stoccaggio di notevoli quantità di energia



Il **GNL** è stoccato in serbatoi criogenici a bassa temperatura (**circa -162°C**) e a pressione circa atmosferica

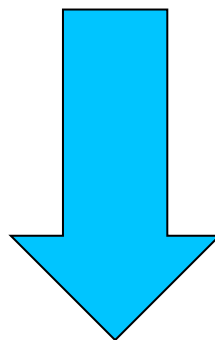
GNL: esempi di composizione (*tratto dalla norma UNI EN ISO 16903:2015*)

| Proprietà alla temperatura di ebollizione alla pressione normale | GNL Esempio 1 | GNL Esempio 2 | GNL Esempio 3 |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Concentrazione Molare (%) | | | |
| N ₂ | 0.13 | 1.79 | 0.36 |
| CH ₄ | 99.8 | 93.9 | 87.20 |
| C ₂ H ₆ | 0.07 | 3.26 | 8.61 |
| C ₃ H ₈ | - | 0.69 | 2.74 |
| i C ₄ H ₁₀ | - | 0.12 | 0.42 |
| n C ₄ H ₁₀ | - | 0.15 | 0.65 |
| C ₅ H ₁₂ | - | 0.09 | 0.02 |
| Temperatura del punto di ebollizione (°C) | -161.9 | -166.5 | -161.3 |
| Massa molare (kg/kmol) | 16.07 | 17.07 | 18.52 |
| Massa volumica (kg/m³) | 422 | 448.8 | 468.7 |
| Potere calorifico superiore (MJ/m³) | 37,75 | 38.76 | 42,59 |
| Volume di gas misurato | | | |
| a 0 °C e 101325 Pa/volume di liquido (m ³ /m ³) | 588 | 590 | 568 |
| a 0 °C e 101325 Pa/massa di liquido (m ³ /10 ³ kg) | 1392 | 1314 | 1211 |

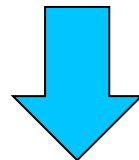
GNL: componenti minori

Concentrazioni tollerate per eventuali composti presenti nel GNL (norma UNI-EN 1473)

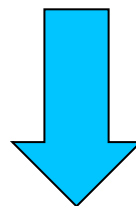
| | Concentrazione (% in volume) | Concentrazione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Note |
|------------------|---------------------------------|------------------------------------------------|-------------------|
| CO ₂ | $<100 \cdot 10^{-6}$ | | |
| H ₂ S | $<4 \cdot 10^{-6}$ | | |
| H ₂ O | $<1 \cdot 10^{-6}$ | | consigliata |
| Hg | | <0.01 | a 1013 mbar e 0°C |



GNL: componenti minori

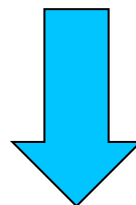


Per motivi commerciali e tecnici (rischi di solidificazione durante il raffreddamento), il gas naturale, prima della liquefazione, viene purificato dai gas acidi (CO_2 e H_2S ed altri composti solforati quali ad es. COS, mercaptani..., potenzialmente presenti e non eliminati nel processo di estrazione dei gas acidi,)



in quanto

Le specifiche sulla qualità dei GNL limitano la quantità totale di zolfo



perciò

Ogni GNL è più «leggero» e contiene una quantità di «componenti minori/impurezze» inferiore rispetto al gas naturale da cui ha tratto origine

Proprietà GNL: densità e temperatura

Densità del GNL:

- ☐ dipende dalla composizione ed usualmente varia tra 420kg/m³ e 470 kg/m³, ma in alcuni casi può arrivare anche a 520 kg/m³
- ☐ varia anche in funzione della temperatura del liquido, generalmente viene calcolata dalla composizione determinata mediante analisi gascromatografica anche se potrebbe essere misurata direttamente

Temperatura di ebollizione del GNL:

- ☐ dipende dalla composizione del GNL
- ☐ Varia generalmente tra -166°C e -157°C alla pressione atmosferica

Tratto dalla norma UNI EN ISO 16903)

Nella pratica generalmente si fa riferimento a:
temperatura di circa -162°C alla pressione circa atmosferica

GNL: caratteristiche generali



Il GNL è:

gas naturale allo stato liquido

costituito prevalentemente da metano

incolore, inodore

asfissiante, non tossico, non corrosivo

infiammabile (nel campo di infiammabilità
dopo rigassificazione)

occupa 1/600 del volume del gas naturale
corrispondente

liquido criogenico

GNL : caratteristiche generali



**Un eventuale rilascio di GNL
in atmosfera crea una nube bianca (effetto
nebbia)
dovuta alla condensazione
dell'umidità dell'aria**

**Il prodotto rilasciato, quando evapora
ed aumenta la sua temperatura,
diventa più leggero dell'aria**

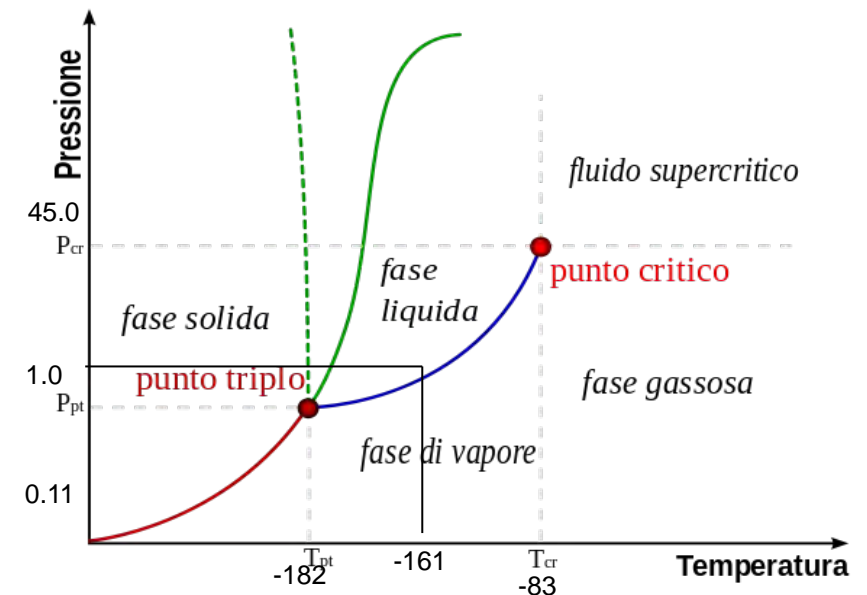
**Il GNL, una volta disperso, non lascia
residui sulla terra o sull'acqua**

Temperatura Critica

Il passaggio allo stato liquido di un gas può avvenire

Diminuendo
la temperatura

Aumentando
la pressione



Es. a -83 °C (temperatura critica) il metano diventa liquido se sottoposto a $P=45\text{atm}$
a -161 °C il metano diventa liquido anche a pressione ambiente

Nota: la temperatura critica di un gas è la temperatura al di sopra della quale un gas non può essere liquefatto

Temperatura Critica

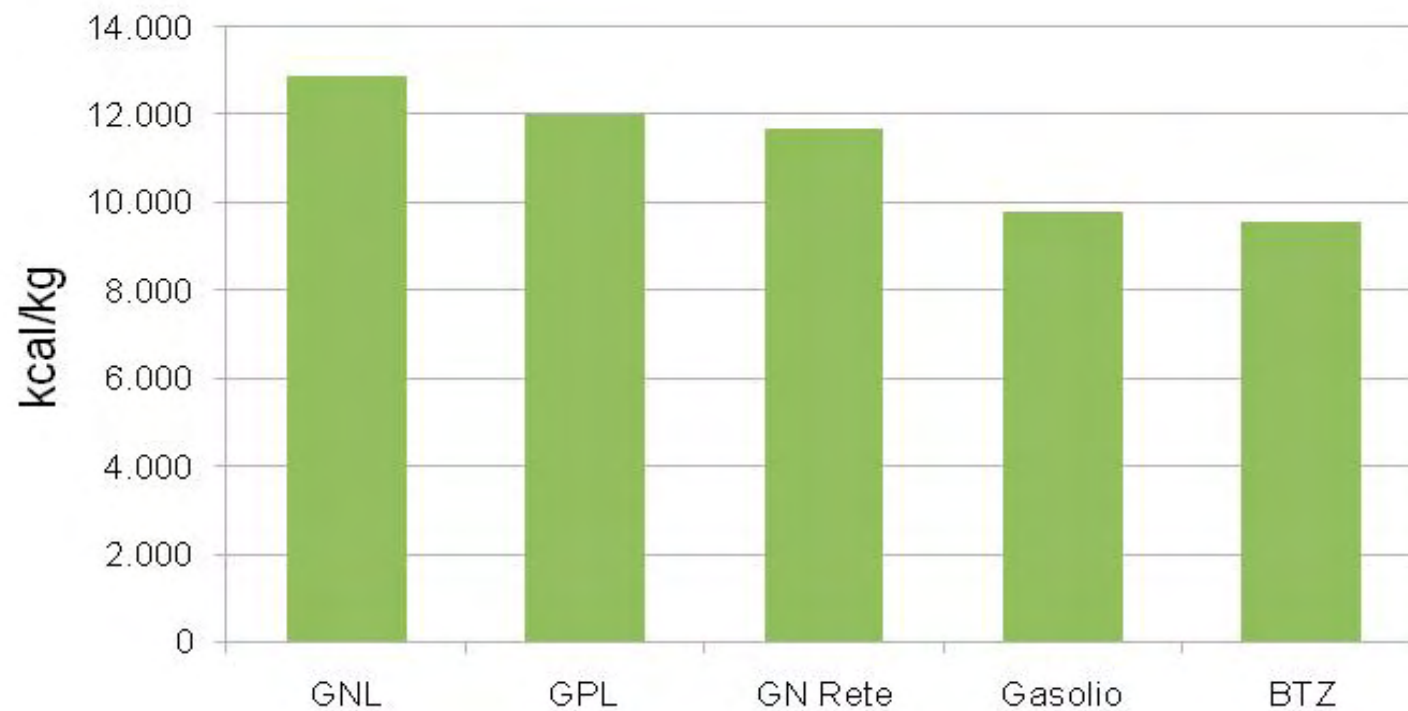
Nella tabella sottostante vengono indicati i valori approssimati delle pressioni critiche e delle temperature critiche del propano, butano e GPL

| Sostanza | Temperatura critica (°C) | Pressione critica (bar) |
|------------------|--------------------------|-------------------------|
| propano | 97 | 42 |
| butano | 152 | 38 |
| GPL ¹ | 136 | 39 |

Come si vede alla temperature ordinarie il GPL e i suoi componenti possono essere sempre liquefatti esercitando la pressione opportuna

| Sostanze | Temperatura critica (°C) |
|----------|-------------------------------|
| GPL | 96.5 |
| Cloro | 144 |
| Ossigeno | -147 |
| Idrogeno | -240 |
| Azoto | -147 |

Potere Calorifico Superiore



Fonte

- **Applied Energy, Volume 88, Issue 12, December 2011, Page 4266 Table 2**
- Letteratura tecnica varia

BOG (Boil Off Gas): formazione

Lo stoccaggio del GNL a temperature criogeniche



comporta

l'ingresso di calore dall'ambiente esterno



quindi

vaporizzazione del GNL

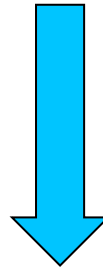


ovvero

la formazione del **BOG (Boil Off Gas)**

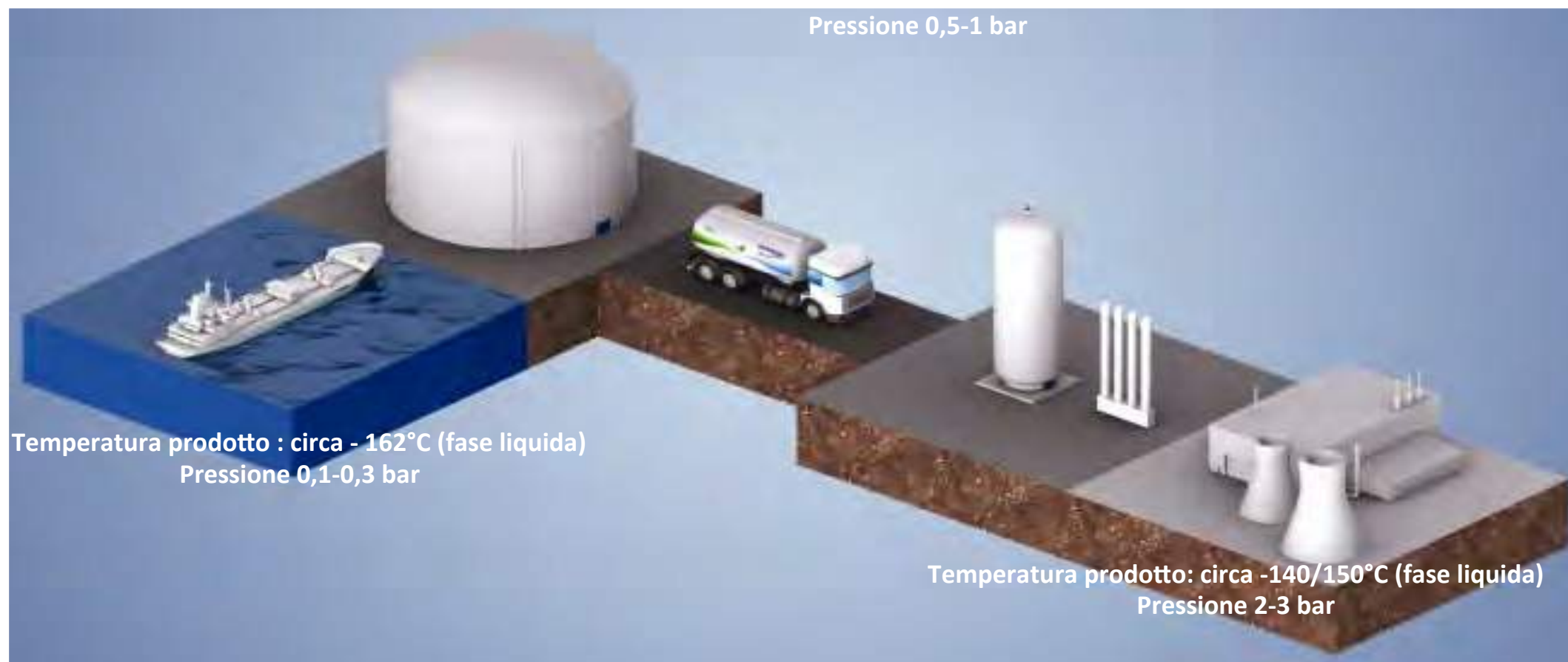
BOG (Boil Off Gas): gestione

Durante lo stoccaggio o manipolazione di GNL il BOG che si forma ha una composizione che è funzione di quella del GNL liquido di partenza



Una corretta gestione del BOG richiede un controllo della pressione per mantenere il liquido alle temperature criogeniche ed evitare sovrappressioni

Pressione e Temperatura lungo la filiera del GNL

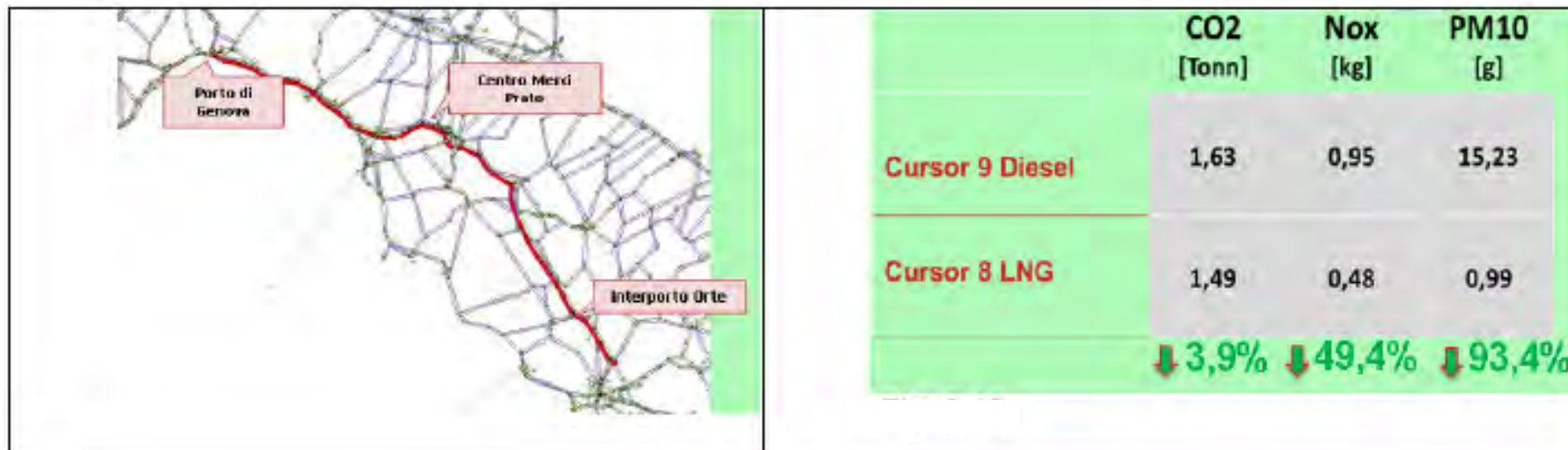


-162°C (0.1-0.3 bar)

-150°C (0.5-1 bar)

-140/150°C (2 / 3 bar)

Confronto emissioni



da Documento di Consultazione per una Strategia Nazionale sul GNL (MISE giugno 2015)

Nota:

Utilizzando GNL l'abbattimento della produzione di SOx è pari al 100% rispetto agli altri combustibili, in quanto i composti solforati presenti nel gas naturale vengono abbattuti durante il processo di purificazione prima di sottoporre il GN a liquefazione e quindi diventare GNL

Confronto emissioni

Risultati di uno studio effettuato su missioni di trasporto merci di lunga percorrenza (scenario 2025) prendendo in considerazione mezzi con PTT maggiore/uguale 18 ton ipotizzando che nel 2025 il parco circolante sia costituito per l'8% da GNL in sostituzione di pari quantità di Euro IV

Composizione del parco maggiore/uguale 18 ton Scenario 2025

| Parco solo diesel | | Parco con quota GNL (sostituzione Euro IV) | |
|-------------------|-------|--------------------------------------------|-------|
| Euro IV | 25,9% | Euro IV | 17,9% |
| Euro V | 32,3% | Euro V | 32,3% |
| Euro VI | 41,8% | Euro VI | 41,8% |
| GNL | 0% | GNL | 8,0% |

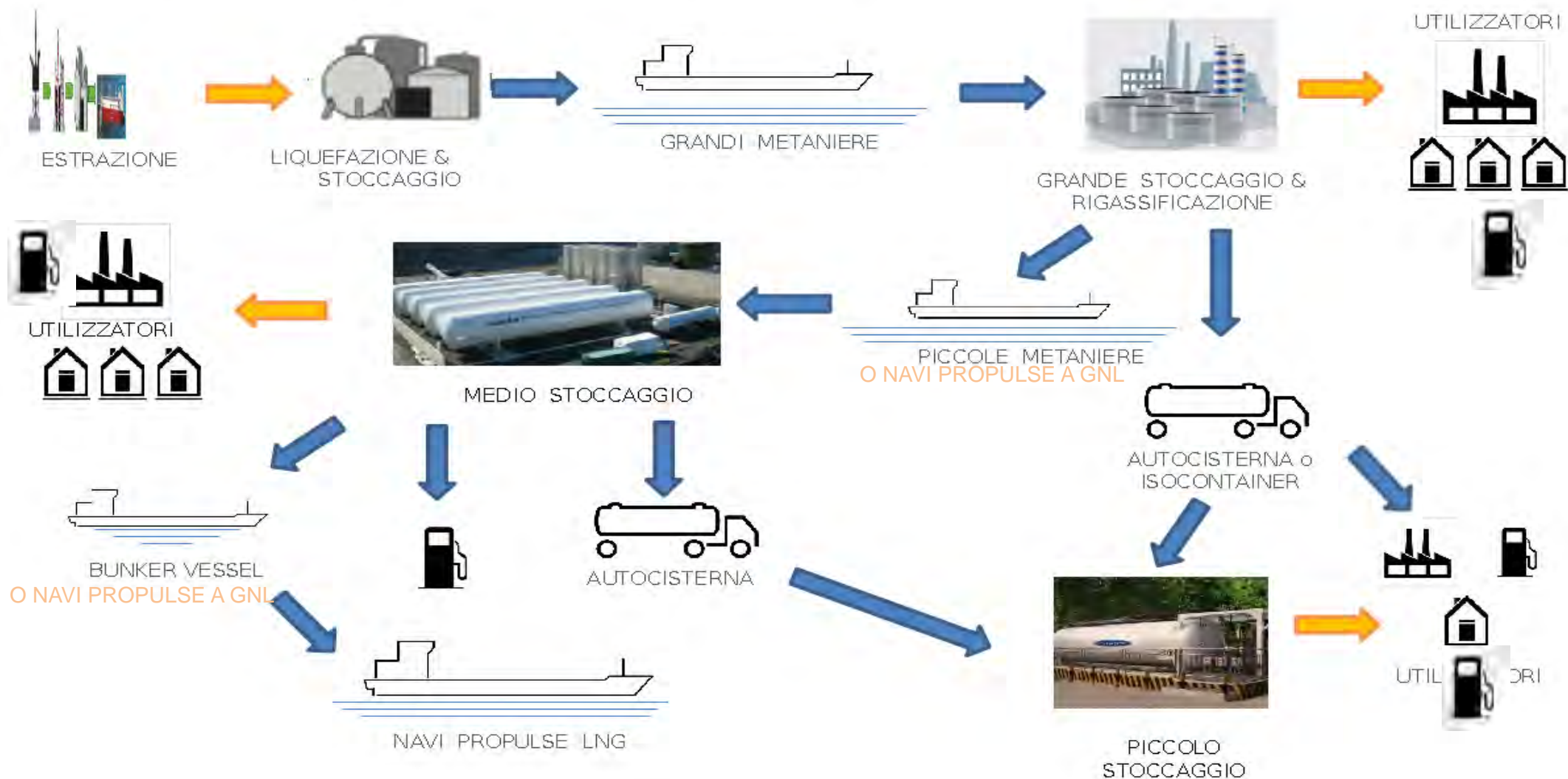
Emissioni complessive (nel giorno medio)

| | Parco solo diesel | Parco con quota GNL (sostituz. Euro IV) | Diff % |
|-----------------|-------------------|-----------------------------------------|--------|
| CO ₂ | 1.561 ton | 1.500 ton | -3,9 |
| NOx | 5.289 kg | 4.900 kg | -7,2 |
| PM | 120 kg | 88 kg | -26,1 |

Tecnologie specifiche di utilizzazione, trasporto,
depositi, distributori (stradali, marittimi, etc.)

La filiera produttiva del GNL

→ Stato GAS (GN)
→ Stato LIQUIDO (GNL)



Deposito Costiero /Bunkering / Medio stoccaggio



Rifornimento con ISO (Cryo) CONTAINER

40 feet ISO

Cryo-Container

build by M1 Engineering

For the Transport of liquefied Natural Gas



HOYER Group

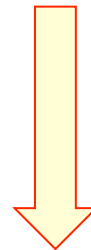
RIFORNIMENTO CON AUTOCISTERNE



UTILIZZATORI FINALI DI GNL

proveniente da stoccaggi primari

Il GNL viene stoccato in appositi serbatoi criogenici presso gli utilizzatori finali



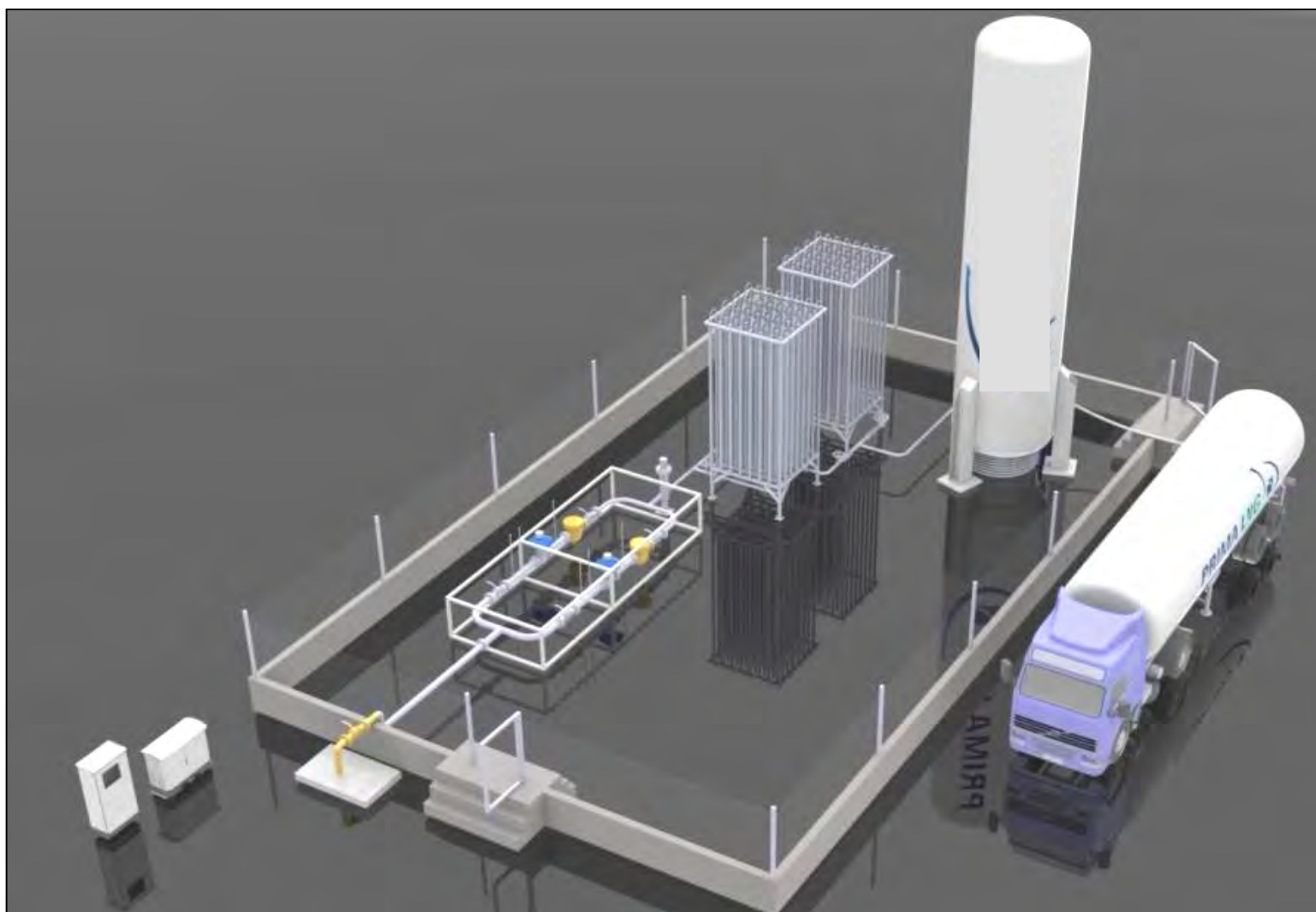
dopodichè il GNL viene

rigassificato
(secondo necessità)

oppure

utilizzato allo stato liquido
(es. per rifornimento
diretto di veicoli)

Impianto Satellite presso il cliente



Impianti Satellite



Cogenerazione e Trigenerazione

- Il GNL è la fonte ideale per impianti di cogenerazione
- **COGENERAZIONE**: produzione combinata di energia elettrica e di calore ottenuta in impianti che utilizzano la stessa fonte primaria.
- Se un utente richiede energia elettrica e termica, si può realizzare un ciclo termodinamico per produrre energia elettrica sfruttando i livelli termici più alti, ossia cedendo il calore residuo per soddisfare le esigenze termiche.
- Obiettivo fondamentale è l'ottimizzazione dell'energia contenuta nel combustibile, con benefici concreti e misurabili in termini di efficienza energetica (permettendo di risparmiare energia fino al 30%) e drastica riduzione delle emissioni di CO₂ (grazie ad un minor consumo di combustibile).
- Sugli stessi principi si basa la **TRIGENERAZIONE** (produzione simultanea di energia termica, elettrica e frigorifera da un'unica fonte).

Il GNL come combustibile

A seguito dell'emanazione della Direttiva 2014/94/UE sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi gli Stati membri devono emanare le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative necessarie per conformarsi alla direttiva stessa entro il **18 novembre 2016**

Direttiva 2014/94/UE sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi

Articolo 1

*La presente direttiva stabilisce un quadro comune di misure per la realizzazione di un'infrastruttura per **i combustibili alternativi** nell'Unione per ridurre al minimo la dipendenza dal petrolio e attenuare l'impatto ambientale nel settore dei trasporti. La presente direttiva stabilisce requisiti minimi per la costruzione dell'infrastruttura per i combustibili alternativi, inclusi **i punti di ricarica per veicoli elettrici e i punti di rifornimento di gas naturale (GNL e CNG) e idrogeno, da attuarsi mediante i quadri strategici nazionali degli Stati membri**, nonché le specifiche tecniche comuni per tali punti di ricarica e di rifornimento, e requisiti concernenti le informazioni agli utenti*

Articolo 2

*Ai fini della presente direttiva, si intende per
«**combustibili alternativi**»: combustibili o fonti di energia che fungono, almeno in parte, da sostituti delle fonti di petrolio fossile nella fornitura di energia per il trasporto ... omissis.... Essi comprendono, tra l'altro: ...omissis**gas naturale, compreso il biometano, in forma gassosa (gas naturale compresso-CNG) e liquefatta (gas naturale liquefatto — GNL)** ...omissis....*

Il GNL come combustibile

La Direttiva, inerente la “**Realizzazione di un’infrastruttura per i combustibili alternativi**”, individua quindi il GNL come combustibile alternativo in grado di rispettare i rigorosi limiti in materia di emissioni inquinanti imposti:

- Direttiva Europea **2012/33/EU** per ambito marittimo
- Regolamento n.**595/2009**(Euro VI) per ambito terrestre

Il GNL come combustibile

La scelta della Unione Europea (EU)

L'Unione Europea ha deciso di porre maggiori attenzioni ai problemi ambientali con la creazione di aree sottoposte a restrizioni circa le emissioni di sostanze dannose in atmosfera, con la creazione dal 2015 in Europa delle aree cosiddette

SECA

(Sulphur Emission Controlled Areas)

Viene espressa inoltre la volontà di sviluppare l'utilizzo di Gas Naturale come combustibile alternativo (**GNL e CNG**), con l'adozione di politiche incentivanti e direttive per facilitare l'installazione di impianti di distribuzione di GNL, sia per autotrazione che per mezzi navali

Il GNL come combustibile

Direttiva 2012/33/UE

Sintesi dei limiti sui contenuti di zolfo nei combustibili marini:

- 0,1% dal 2015 nelle aree SECA
- 0,5% dal 2020 (o 2025) in tutto il mondo (su decisione IMO)
- 0,5% dal 2020 nei mari non SECA degli stati membri e comunque 0,1% nei porti europei
- 0,1% dal 2018 nello Ionio e nell'Adriatico (se gli altri stati membri che si affacciano su detti mari imporranno analoghi limiti)
- 0,1% dal 2020 nei mari italiani (se gli altri stati membri che si affacciano su detti mari imporranno analoghi limiti)

Il GNL come combustibile

Direttiva 2012/33/UE

SECA
(Sulfur Emission Controlled
Area)



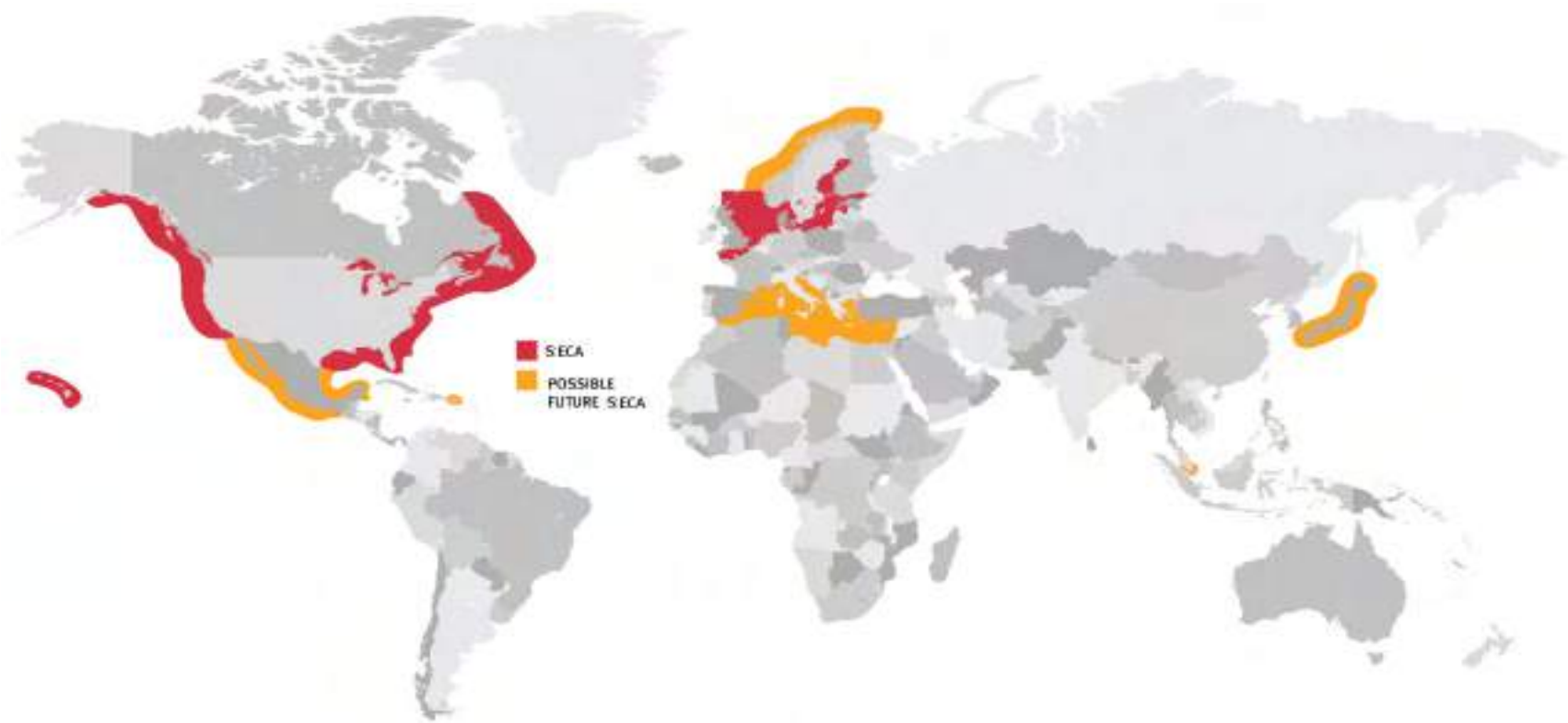
Dal 1 Gennaio 2015, nelle zone SECA il
tenore massimo consentito di biossido
di zolfo nel combustibile è $\leq 0,1\%$.



Produzione di nuove navi (e refitting di navi
già esistenti) con propulsione GNL, quindi con
emissioni in accordo alle normative

Il GNL come combustibile

Direttiva 2012/33/UE



Il GNL come combustibile

Direttiva 2012/33/UE

Entro
31/12/2025

Punti di rifornimento per il GNL tali da consentire la circolazione di navi, adibite alla navigazione interna o alla navigazione marittima, alimentate a GNL.

Stazioni di rifornimento accessibili al pubblico, almeno lungo la rete centrale della TEN-T, **poste ad una distanza media non superiore km 400 per il GNL.**

Garanzia da parte degli stati membri di un **sistema di distribuzione per la fornitura di GNL per i veicoli cisterna di GNL**, al fine di rifornire i punti di rifornimento sopra citati.

Il GNL come combustibile

Direttiva 2012/33/UE

Articolo 7

Informazioni per gli utenti 1. Fatta salva la direttiva 2009/30/CE, gli Stati membri assicurano che siano rese disponibili informazioni chiare, coerenti e pertinenti per quanto riguarda i veicoli a motore che possono utilizzare regolarmente determinati combustibili immessi sul mercato o essere ricaricati tramite punti di ricarica. Tali informazioni sono rese disponibili nei manuali dei veicoli a motore, nei punti di rifornimento e ricarica, sui veicoli a motore e presso i concessionari di veicoli a motore ubicati sul loro territorio. Tale prescrizione si applica a tutti i veicoli a motore, e ai loro manuali, immessi sul mercato dopo il **18 novembre 2016**.

Per accrescere la consapevolezza dei consumatori e prevedere la **trasparenza riguardo ai prezzi dei combustibili** in modo coerente in tutta l'Unione, alla Commissione è conferito il potere di adottare, mediante atti di esecuzione, una **metodologia comune per il raffronto dei prezzi unitari dei combustibili alternativi**.

Navi propulse a GNL

Aumento della costruzione di navi che utilizzano GNL
come combustibile

Previsioni di vendita sistemi di propulsione
dual fuel

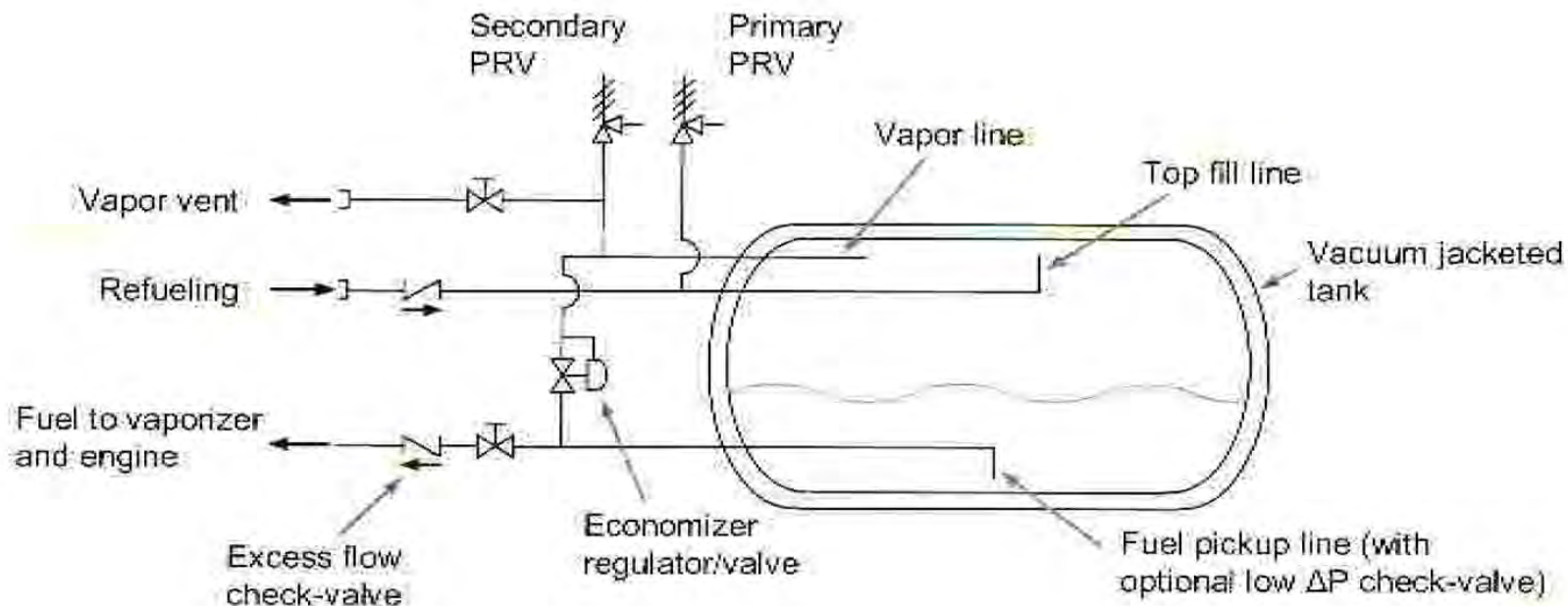
I depositi di combustibile a bordo delle navi saranno riforniti
da stoccaggi costieri di
LNG o bunker vessels



*Fonte Wartsila

I costi di una nave per il trasporto di GNL sono cresciuti fino al 1998, raggiungendo circa 2.600 dollari per metro cubo di capacità, e sono diminuiti attestandosi sui 1.200 dollari al metro cubo nel 2002. Le previsioni al 2007 vedono un costo in leggera diminuzione

Autocarri alimentati a GNL



Da GN a GNL

Il combustibile del futuro

- **Indipendenza da Pipeline GN:** ovvero indipendenza politico economica dai paesi da cui il metanodotto origina
- **Mercato in regime di concorrenza:** possibilità di acquisto diversificato in base ai prezzi di mercato
- **Capillarizzazione della distribuzione:** per trasportare energia pulita con camion cisterne, con propulsione 'pulita', dal deposito di GNL all'utenza finale, sia essa industriale che civile, micro reti già esistenti in Sardegna, senza la necessità di costruzione dei collettori di collegamento
- **Propulsione GNL:** Utilizzo come combustibile, per uso marino, traffico pesante su gomma, mezzi urbani di servizio (bus, mezzi di raccolta rifiuti ecc.) con benefici in termini di drastico abbassamento di emissione di sostanze nocive in atmosfera ed a prezzi competitivi con i combustibili tradizionali 'sporchi'