

---

**Autorità Portuale di Livorno**

---

**IL BUNKERING GNL NEL PORTO DI LIVORNO  
PROBLEMATICHE, SCENARI POSSIBILI E  
PROSPETTIVE DI SVILUPPO**



"Il presente progetto è cofinanziato con il sostegno della Commissione Europea, Trans-European Network - Transport. L'autore è il solo responsabile di questa pubblicazione e la Commissione declina ogni responsabilità sull'uso che potrà essere fatto delle informazioni in essa contenute."

01	17/01/2014	MODIFICA FORMATO E CORREZIONE REFUSI
00	04/11/2013	EMISSIONE PER COMMENTI
<b>REV.</b>	<b>DATA</b>	<b>DESCRIZIONE</b>

## 1 Sommario

2	INTRODUZIONE .....	5
3	IL BUNKERING CON GNL .....	6
3.1	NORMATIVA APPLICABILE .....	6
3.2	SICUREZZA .....	7
3.2.1	Aree di rispetto .....	9
3.3	ASPETTI TECNOLOGICI DEL BUNKERING .....	10
3.3.1	Il serbatoio lato nave .....	11
3.3.2	Il sistema di trasferimento GNL .....	15
3.3.3	Bracci di carico .....	16
3.3.4	Piping, isolamento e valvole onshore .....	20
4	ESPERIENZA MONDIALE NEL BUNKERING CON GNL .....	21
4.1	ESPERIENZA NORVEGIA .....	21
4.2	ESPERIENZA SVEZIA E MARE DEL NORD .....	21
4.3	PROGETTI FUTURI .....	21
5	L'APPROVVIGIONAMENTO DI GNL PER IL PORTO DI LIVORNO .....	23
5.1	IL PORTO DI LIVORNO .....	23
5.2	APPROVVIGIONAMENTO INDIPENDENTE DI GNL VIA TERRA .....	23
5.3	APPROVVIGIONAMENTO INDIPENDENTE DI GNL VIA MARE .....	25
5.4	APPROVVIGIONAMENTO GNL A TERRA VIA TUBAZIONE DA FRSU .....	26
5.5	APPROVVIGIONAMENTO GNL SU PIATTAFORMA AL LARGO VIA TUBAZIONE DA FRSU ...	27
5.6	APPROVVIGIONAMENTO GNL DA FRSU VIA NAVE .....	28
5.7	CONCLUSIONI DELLA ANALISI PER IL PORTO DI LIVORNO .....	35
6	ANALISI TECNICO-ECONOMICA BUNKERING LIVORNO .....	36
6.1	CASI DI STUDIO .....	36
6.2	STIMA DEI FABBISOGNI DI GNL PER REACH STACKERS .....	37
6.3	STIMA DEI FABBISOGNI DI GNL PER MEZZI MARITTIMI .....	38
6.4	CASO 1 – RICONVERSIONE REACH STACKERS .....	39
6.5	CASO 2 – RICONVERSIONE REACH STACKERS E 2 RIMORCHIATORI .....	42
6.6	CASO 3A – RICONVERSIONE REACH STACKERS, 2 RIMORCHIATORI ED UN TRAGHETTO (GNL VIA STRADA) .....	43
6.7	CASO 3B – RICONVERSIONE REACH STACKERS, 2 RIMORCHIATORI ED UN TRAGHETTO (GNL VIA NAVE) .....	45

6.8 CASO 4 – RICONVERSIONE LONG-TERM CON GNL VIA NAVE.....	50
7 CONCLUSIONI .....	52

## 2 INTRODUZIONE

Nei prossimi decenni sono attese significative riduzioni dei limiti di emissione per il trasporto navale. Questa richiesta spingerà verso l'adozione di nuove tecnologie e di combustibili con minor impatto ambientale. Il Gas Naturale Liquefatto è una alternativa molto promettente agli attuali combustibili per contenere le emissioni di CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, indotte dal traffico marittimo Ro-Ro e passeggeri. In aggiunta a questa esigenza il porto di Livorno, nell'ambito del progetto Green Cranes, sta sperimentando modalità per migliorare le emissioni a terra indotte dai mezzi pesanti per movimentazione e operazioni di carico/scarico attraverso l'utilizzo di motori a GNL e/o dual fuel.

L'adozione di una infrastruttura di bunkering GNL per il porto di Livorno può essere un vantaggio competitivo nella ricezione di navi convertite a GNL nel prossimo futuro.

Il presente studio analizza le possibili alternative di approvvigionamento e di distribuzione/utilizzo GNL per il porto di Livorno.

### 3 IL BUNKERING CON GNL

#### 3.1 NORMATIVA APPLICABILE

Il bunkering con Gas Naturale Liquefatto è una tecnica relativamente giovane che deve ancora trovare una regolamentazione internazionale definitiva.

La normativa applicabile a queste operazioni, o comunque quella che ad oggi descrive operazioni similari a quelle di Bunkering, è la seguente:

##### INFRASTRUTTURE A TERRA:

- ISO 28460:2010 'Petroleum and natural gas industries – Installation and equipment for liquefied natural gas – Ship-to-shore interface and port operations'.
- SIGTTO ESD Systems;
- BS EN 1160 Properties and Materials for GNL;
- IMO 'Recommendations on the Safe Transport of Dangerous Cargoes and Related activities in Port Areas';
- Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents – API Recommended Practice 2003, Sixth Edition.
- EN 1474 part 1 GNL Transfer Arms;
- EN 1474 part 2 GNL Hoses;
- EN 1473 Design of Onshore GNL Terminals (come referenza)
- NFPA 59A Storage and Production of GNL;
- BS EN 13645 Installations and equipment for GNL – Design of onshore installations with a storage capacity between 5 & 200 tonnes;
- BS 4089: 1999 Metallic Hose Assemblies for Liquefied Petroleum Gases and Liquefied Natural Gases;
- EU Directive 96/82/EC (Seveso II);
- ATEX Directive 94/9/EC (ATEX 95);
- ATEX Directive 99/92/EC (ATEX 137);
- European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR).

##### NORMATIVA PER BUNKERING SHIP TO SHIP

Per due navi coinvolte in operazioni di bunkering ship to ship ci sono due set di normative:

- IMO IGC Code – (International Gas Code), Rules for the bunker ship
- IMO IGF Interim guidelines – (International Gas Fuel), Rules for the receiving ship

Inoltre il bunkering ship to ship del GNL è una forma di trasferimento di GNL e quindi anche le linee guida della SIGGTO, *Society of International Gas Tanker & Terminal operators Ltd*, devono essere prese in considerazione. Le prescrizioni SIGGTO sono basate su operazioni di GNL carrier di grandi dimensioni ma la maggior parte delle prescrizioni sono applicabili anche all'operazione di bunkering in oggetto.

Le prescrizioni della OCIMF, *Oil Companies International Marine Forum*, devono essere prese in considerazione al fine di avere un sistema internazionalmente riconosciuto.

### 3.2 SICUREZZA

Il Gas Naturale Liquefatto ha le seguenti proprietà:

- Temperatura di ebollizione: -163°C
- Densità: ca. 450 kg/mc
- GNL evapora con un fattore di espansione volumetrica di ca. 600 volte
- GNL è inodore ed incolore
- GNL non è tossico
- GNL non provoca inquinamento se sversato
- Il gas naturale ha una range di infiammabilità tra il 5% ed il 15% in aria a 20 °C (molto inferiore rispetto al GPL)

In caso di rilascio accidentale di GNL gli eventi che possono manifestarsi sono:

- infragilimento e rottura dei materiali (embrittlement) a contatto con il gas alle temperature criogeniche
- formazione di miscele esplosive
- Incendi ed o esplosioni nel caso di ambienti confinati
- Rapid Phase Transition (RPT) ovvero un'onda d'urto provocata dal repentino cambio di fase nel caso di sversamento in acqua.
- Ustioni da freddo e ferite al personale se non adeguatamente protetto
- Asfissia in ambienti confinati

Negli impianti GNL non vengono svolte reazioni chimiche ma solo operazioni di tipo fisico (trasferimento, compressione, evaporazione); per impianti della tipologia che verrà qui presa in considerazione le condizioni operative sono caratterizzate da basse temperature (criogeniche) ma, a differenza dei grandi impianti di rigassificazione, portate volumetriche contenute e pressioni medie (fino ad 8 barg).

Da un punto di vista costruttivo, una certa importanza in materia di sanità/sicurezza riveste la caratteristica impiantistica dell'installazione in esame tipica del settore di ricezione: unità disposte all'aperto e poste a distanza l'una dall'altra. Tale disposizione diminuisce la possibilità di accumulo di prodotti infiammabili nell'ambiente in caso di sversamento e crea impedimento alla diffusione degli incidenti (effetto "domino").

Sono previste anche precauzioni per gli operatori nella gestione di sostanze criogeniche.

La permanenza del personale sull'impianto è dovuta essenzialmente alle operazioni di ricezione da navi, carico/sacrico di mezzi a terra ed alle operazioni di controllo sull'esercizio e sulla manutenzione ordinaria (manovre particolari per cambio regime, prese campioni, controllo irregolarità, manutenzioni varie, etc.)

L'industria del GNL opera da 60 anni con un record invidiabile di sicurezza. Ad oggi nelle operazioni di bunkering nel Mare del Nord non è stato registrato nessun incidente derivante da fuoriuscite di GNL. L'esperienza è però troppo limitata per poter avere dati statistici significativi.

In generale le principali cause di un incidente durante le attività di bunkering possono essere:

- rilascio dalla linea di scarico durante il processo di bunkering
- rottura puntuale di una linea di trasferimento a causa di impatto
- collisione della barge con il molo e/o l'altra imbarcazione

A seconda delle condizioni dell'incidente si possono avere i seguenti scenari:

- pool fire: incendio della pozza di GNL sversato nel caso ci sia una immediata fonte di ignizione
- Rapid Phase Transition (RPT): nel caso di sversamento in mare
- formazione di una nube di gas che tenderà a dissiparsi con la distanza in quanto la densità del GNL è inferiore a quella dell'aria
- formazione di una miscela esplosiva se la nube resta confinata e non ha la possibilità di diluirsi

Sulla base del progetto definitivo sarà necessario sviluppare una analisi dei rischi (HAZID ed HAZOP) dell'intera catena di bunkering ed un Rapporto di Sicurezza che analizzi le frequenze dei possibili scenari per portarle al di sotto della soglia di accettabilità del rischio.

In questo studio si riportano alcune analisi qualitative sugli incidenti più plausibili e le conseguenze più probabili:

### ***Collisione della GNL bunker ship con le infrastrutture portuali***

Questo scenario, sebbene molto remoto, può avere impatti importanti date le quantità trasportate. Storicamente non si è mai verificato uno sversamento di GNL a causa di impatto di una GNL carrier. C'è da notare come però le GNL carrier di grossa stazza hanno tutte un doppio scafo per evitare il danneggiamento dei serbatoi interni, cosa che non è standard nelle piccole imbarcazioni di bunkering. Nel prosieguo dello studio vedremo come per il porto di Livorno sono state ipotizzate barge trainate da rimorchiatore, fattore che rende molto improbabile una avaria e comunque, essendo caratterizzato da velocità molto basse, garantisce impatti limitati. Inoltre il serbatoio sarà installato sul deck della barge rendendo ancora più improbabile un danneggiamento di questo nel caso di impatto dello scafo. Lo scenario più plausibile può essere un danneggiamento delle tubazioni/valvole a bordo con rilascio di piccole quantità controllate di

GNL che potrebbero risultare in limitate pozze incendiate e comunque nessun inquinamento permanente dell'acqua.

### **Rilascio durante le fasi di scarico**

Questo scenario può verificarsi in seguito a errore umano nelle operazioni, errata procedura di connessione/disconnessione della linea, perdita da una valvola, rottura da una tubazione per impatto esterno. Questi piccoli rilasci possono causare pool fires, incendi della nube e/o esplosioni se in prossimità di aree confinate. Questo scenario è comune a tutti i sistemi di bunkering sia con ship che con truck, anche se, a causa dei maggiori volumi di scarico e della maggior difficoltà della procedura, ha sicuramente una frequenza di rischio maggiore nel caso di bunkering ship to ship.

Ad oggi non sono disponibili dati per supportare una indicazione di frequenza di accadimento per operazioni di bunkering. Nell'industria GNL storicamente ci sono stati 21 rilasci di GNL da operazioni di scarico GNL dal 1964 al 2005 e soltanto uno ha portato ad ignizione e ad un incendio.

In sintesi, per poter pensare di operare in maniera sicura le operazioni di bunkering e permettere l'esecuzione delle attività anche (ad esempio) in parallelo ad operazioni di imbraco/sbarco dei passeggeri, è necessario come minimo predisporre:

- pavimenti in acciaio retrattili al di sotto delle zone di scarico per evitare una caduta diretta del GNL in mare
- sistema di purging con azoto
- Emergency ShutDown System collegato tra i due mezzi
- sistema di scarico "fail safe", indipendente dall'operatore
- area di sicurezza intorno al punto di scarico (meglio dettagliato nel seguente paragrafo)
- valutazione del rischio nelle varie fasi di bunkering, particolarmente importante nel caso di soluzioni "non-standard"
- procedure di addestramento operatori
- piano di emergenza

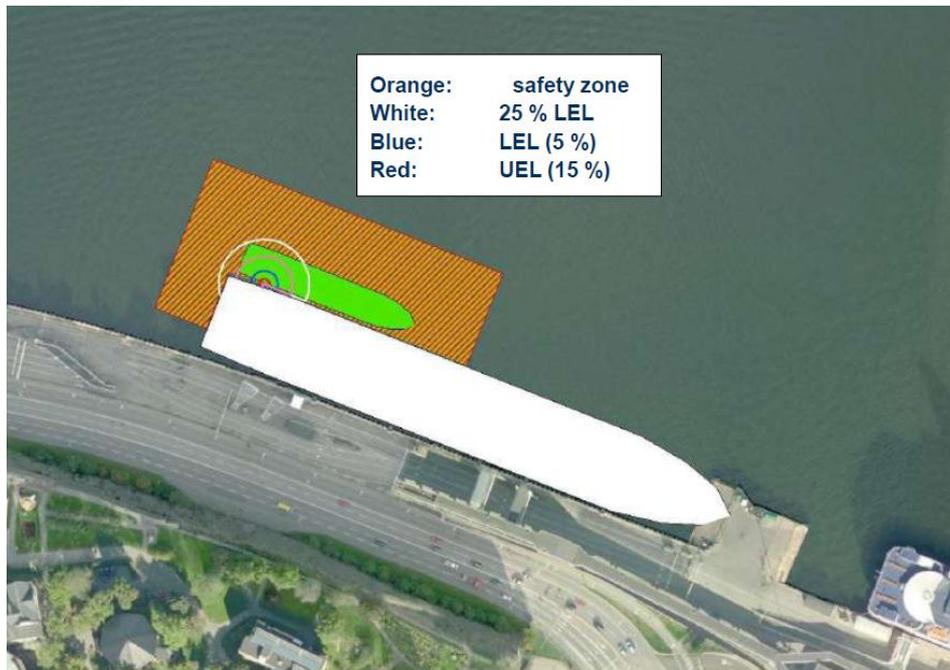
#### **3.2.1 Aree di rispetto**

La fattibilità dell'introduzione di operazioni di bunkering all'interno di un sistema portuale esistente non può prescindere dalla valutazione delle aree di rispetto che dal punto di vista della sicurezza è necessario garantire alle attività di bunkering.

La definizione delle distanze di sicurezza effettive (in termini di dispersione, irraggiamento e sovrappressioni) potrà essere determinata soltanto a valle di uno studio di dettaglio. Nel presente studio riportiamo delle considerazioni tipiche dell'industria del GNL e alcune misure adottate dai porti che già operano con attività di bunkering GNL:

- sono da evitare impedimenti stabili alle vie d'uscita del mezzo di bunkering che deve poter effettuare una manovra di emergenza nel caso di incidente e allontanarsi velocemente dal mezzo rifornito. Sono sconsigliabili aree con curve o incroci per poter uscire

- le distanze di sicurezza tra il sistema di bunkering e gli altri natanti, mezzi portuali, ecc. non interessati alle attività dovrebbe essere almeno di 25 m per le operazioni truck to ship. Questa distanza è stata calcolata nel Quantitative Risk Assessment effettuato per lo studio per *Flemish GNL*. Sulla base di altri studi GNL, anche se in assenza di uno studio di dettaglio, si può considerare questa distanza come un valore robusto da poter essere preso a riferimento per la progettazione del sistema di bunkering a terra.
- Per operazioni ship to ship, caratterizzate da portate di GNL superiori, i porti di Stoccolma e Turku hanno imposto una distanza di sicurezza di 35 m. Il calcolo di questa distanza è il risultato di una analisi di rischio che prende in considerazione l'irraggiamento e la dispersione del gas, nel caso incidentale di una rottura totale della linea di carico da 3", con conseguente sversamento (controllato dal sistema automatico di blocco ERS). Anche in questo caso il valore fornito, messo a confronto con la casistica standard GNL, può essere considerato una robusta base di partenza per le successive analisi.



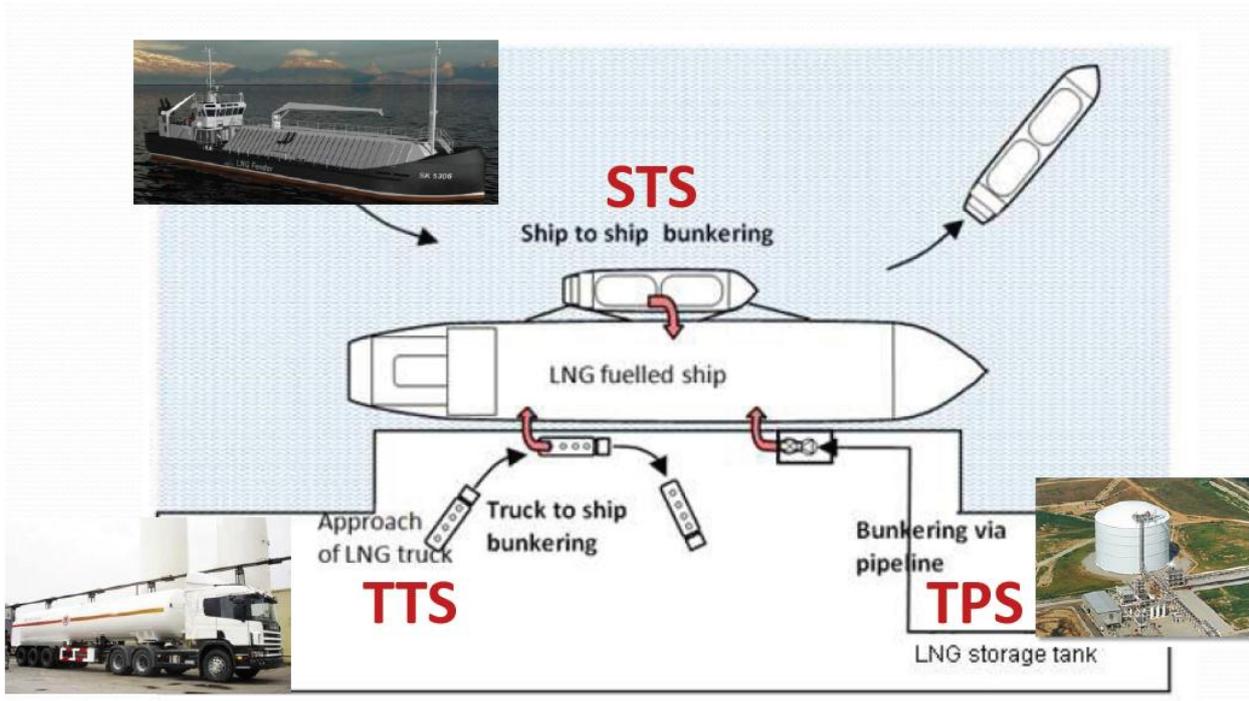
**Figura 1 - Distanze di sicurezza per bunkering GNL**

### 3.3 ASPETTI TECNOLOGICI DEL BUNKERING

Lo sviluppo di infrastrutture di bunkering è un processo in fase di sviluppo. Il trasporto e gestione di GNL via carrier o via terra è una metodologia testata ormai da decenni. L'implementazione del bunkering di mezzi navali alimentati a gas metano e/o con motori dual fuel ha soltanto limitate esperienze nei paesi scandinavi come riportato in maggior dettaglio nel capitolo successivo. Attualmente, data la limitata domanda di bunkering, la quasi totalità delle operazioni è gestita con autocisterne attraverso il cosiddetto truck to ship bunkering (TTS).

Ciononostante sono già implementati o in fase di sviluppo anche la metodologia Ship to Ship (STS) e quella Terminal/pipeline to Ship (PTS).

Quest'ultima soluzione non è oggetto di questo studio in quanto implica la vicinanza ad uno stoccaggio significativo di GNL, non disponibile per Livorno. Il Porto di Dunkerque, in Francia, ha ottenuto un finanziamento Europeo per lo studio di questa integrazione con il futuro terminale GNL portuale.



**Figura 2 - Alternative per bunkering GNL**

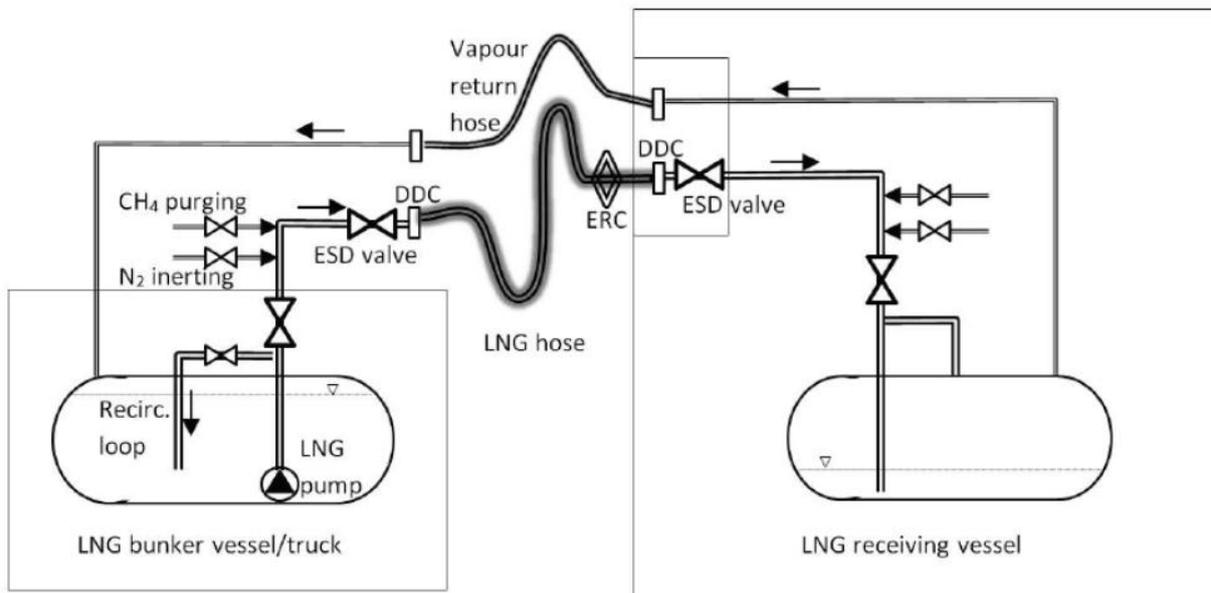
Di seguito vengono analizzate le principali componenti tecnologiche che caratterizzano il sistema di bunkering. Non ci soffermeremo sulla descrizione del sistema di stoccaggio a terra che, per le dimensioni in esame, non ha alcuna peculiarità tecnologica ed è un prodotto standardizzato e di relativamente semplice ingegnerizzazione al pari dei serbatoi di altri gas criogenici.

Le particolarità del sistema di bunkering risiedono invece nella interfaccia mezzo di bunkering/nave che devono garantire elevati standard di sicurezza a causa del fluido criogenico ed infiammabile che devono gestire.

### 3.3.1 Il serbatoio lato nave

Prima di analizzare nel dettaglio la sezione di bunkering è interessante capire le esigenze del serbatoio installato sulla nave, che deve ricevere il rifornimento di GNL.

Di seguito è schematizzato il processo generale di GNL bunkering:

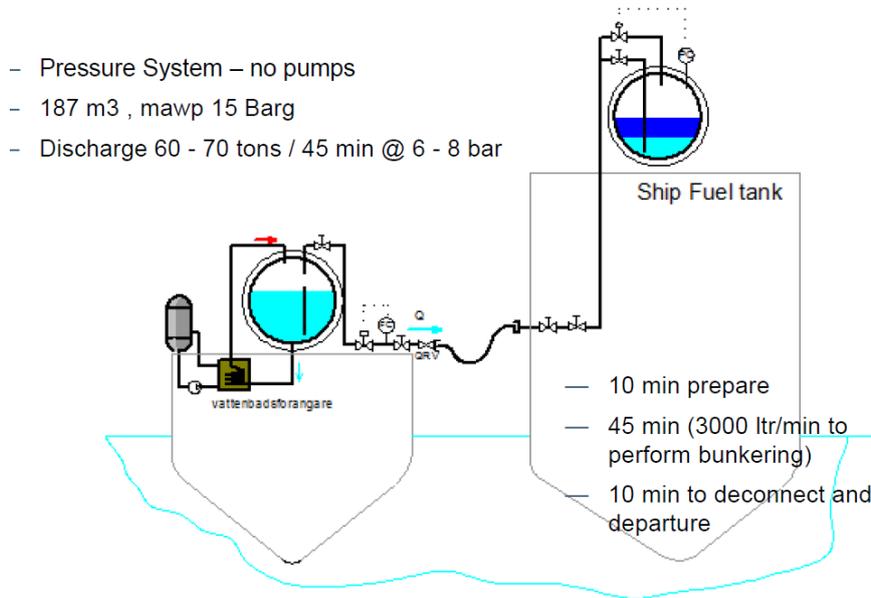


**Figura 3 - Schema del processo di bunkering GNL**

Tipicamente, il processo di caricamento di un serbatoio GNL produce nel serbatoio ricevente uno spiazzamento dei vapori di GNL gassosi e una riduzione di pressione a causa dell'aumento del volume disponibile nel serbatoio di rifornimento. Il GNL è movimentato da una pompa sommersa nel serbatoio di bunkering per la mandata del GNL. Le pompe sono collocate in una colonna all'interno del serbatoio e sono sempre completamente sommerse nel GNL che funge anche da refrigerante degli organi motorizzati.

Per poter riequilibrare la pressione dei due sistemi è prevista una linea di ritorno del vapore che equalizza i due sistemi. Il vapore di GNL circola nella linea in maniera non forzata soltanto grazie alla differenza di pressione tra i due sistemi. Solitamente a queste due linee se ne aggiunge una terza dedicata al caricamento di azoto liquido per gli usi interni alla nave

Alcune tecnologie proprietarie (Linde Ag) sono riuscite ad eliminare la presenza della linea di ritorno del vapore. Questa tecnologia è anche ad oggi l'unica implementata su una *GNL bunker ship* in Svezia.



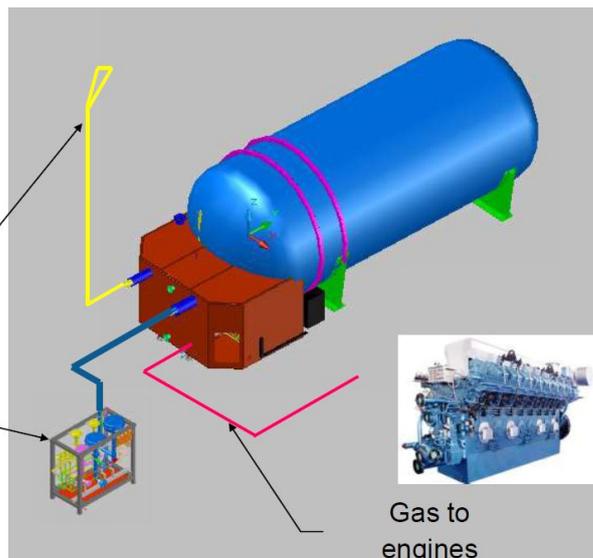
**Figura 4 - Tecnologia Linde per scarico GNL senza pompe e senza linea di ritorno del vapore**

La tecnologia Linde è anche l'unica a non prevedere la presenza di sistema di pompaggio GNL. Il vantaggio di non avere un sistema di pompaggio si traduce però in un maggior onere per un serbatoio in pressione fino a 15 barg. La linea di ritorno del vapore è eliminata grazie alla presenza di un vaporizzatore ad acqua sulla bunkering ship che garantisce la stabilità del sistema.

Di seguito una rappresentazione del serbatoio cilindrico della Linde Installato sul traghetto Viking Grace (2 x 200 mc).

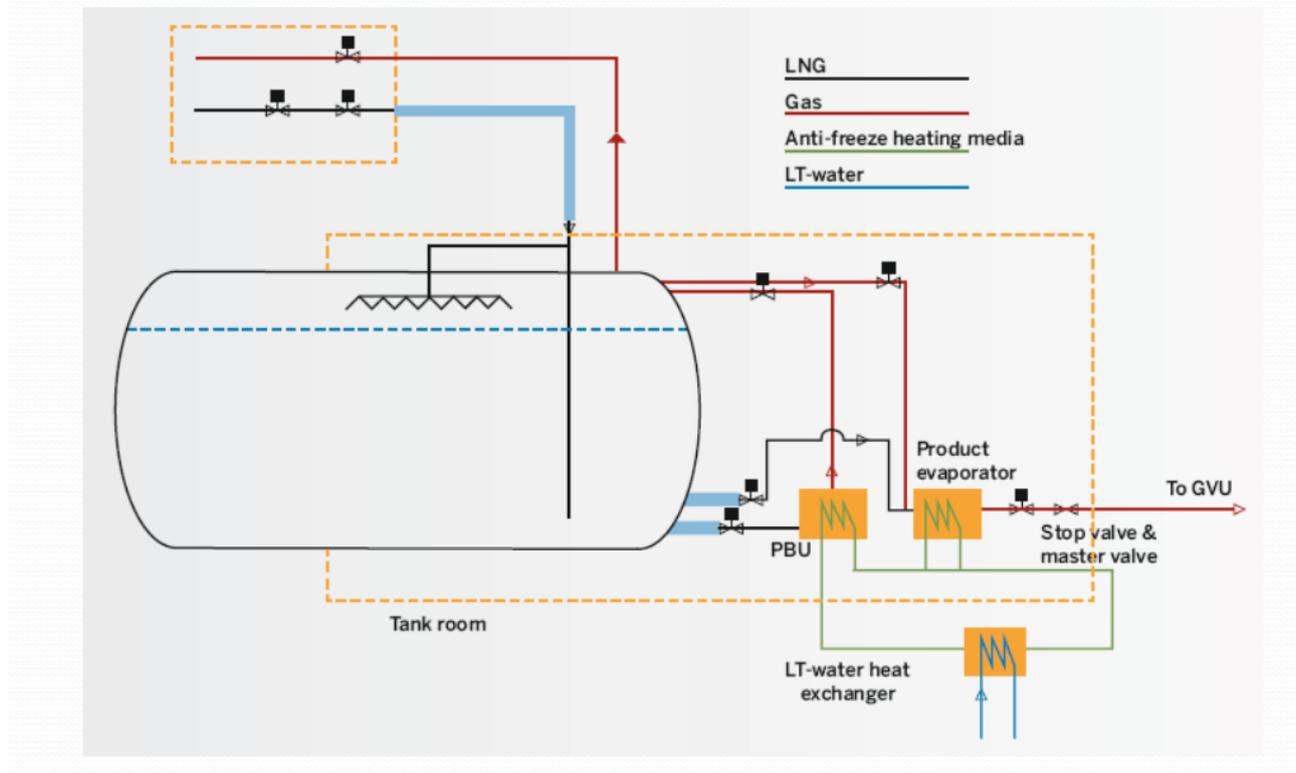
• System main parts

- Tank
- Cold-box
- Cold-flare
- Bunker station
- Piping
- , Nitrogen supply



**Figura 5 - Serbatoio cilindrico Linde da 200 mc installato sul traghetto Viking Grace**

Il serbatoio produce il gas naturale da inviare ai motori attraverso l'ausilio di vaporizzatori ad acqua di mare. Di seguito una schematizzazione del processo fornita dal costruttore Wartsila.



**Figura 6 - Schema processo di vaporizzazione gas per motori - Wartsila**

La SIGGTO ha fornito delle linee guida per il sistema di stoccaggio a bordo della nave:

- Il sistema di bunkering deve essere predisposto per garantire nessun rilascio in atmosfera durante le operazioni di riempimento
- Su ogni linea di caricamento GNL, in prossimità della flangia di caricamento, devono essere installate in serie una valvola manuale ed una valvola di shutdown operata in remoto da una postazione in area safe.
- Ogni tubazione di bunkering deve essere equipaggiata per permettere il completo drenaggio al termine delle operazioni
- Le linee di caricamento devono essere predisposte per inertizzazione. Durante il funzionamento dei motori delle navi, le linee devono essere libere da gas metano.
- Un sistema di fermata di emergenza (emergency shutdown) deve essere sempre presente per interrompere le operazioni di bunkering in caso di emergenza.
- Una valvola automatica di ESD, fail closed, deve essere installata su ogni linea di collegamento (può coincidere anche con la valvola operata in remoto).

- Ogni valvola di ESD nelle linee di trasporto liquido deve potersi chiudere completamente entro 30 s (quick closing valve). Il progetto del sistema di ESD deve essere tale da evitare surge pressure nelle linee.
- Il sistema di ESD deve garantire la riduzione al minimo del GNL sversato.

### 3.3.2 Il sistema di trasferimento GNL

L'interfaccia di bunkering deve essere conforme ai requisiti della ISO 28460 che impone:

- La connessione tra terra e nave deve seguire le best practice per installazioni di bunkering (es. uso di connessioni QC/DC sia idrauliche che meccaniche) come in figura (fonte: Kanon, NT):



**Figura 7 - Connessione per scarico GNL – Kanon, NT**

- Una separazione di sicurezza della linea di bunkering deve essere sempre installata con l'utilizzo di un Emergency Release Coupling. Il sistema ERC garantisce, con un collegamento meccanico, la chiusura automatica delle due valvole poste ai due lati della connessione per evitare lo sversamento di fluido in caso di disconnessione accidentale.
- Se è necessaria la linea di ritorno del vapore, questa deve essere a zero rilasci in atmosfera.
- Le connessioni con manichette non devono essere soggette a stress da tensione, compressione e buckling.
- I raggi di curvatura di fabbrica devono essere strettamente rispettati
- Il sistema di ESD darà in accordo ai requisiti ISO "Guidelines for systems and installations for supply of GNL as fuel to ships". It
- La sequenza di Shut-down avrà tipicamente due fasi:

- o ESD 1: Emergency shutdown delle attività di bunkering (pompaggio)
- o ESD 2: Emergency release delle connessioni di bunkering
- Il controllo del bunkering è possibile da una postazione sicura dove devono essere monitorati, come minimo, pressione, livello dei serbatoi e rispettivi allarmi.
- In locale deve essere predisposta una lettura di pressione su ogni linea

Per alcune soluzioni di bunkering con piccoli volumi, ma soprattutto basse portate, è allo studio la possibilità di procedere alle operazioni senza uno scambio dati automatico tra i due lati del bunkering. Questa soluzione sicuramente più economica deve essere studiata nel dettaglio e soprattutto per casi specifici e dedicati.

In generale, per attività di bunkering il sistema di collegamento può essere o il sistema SIGGTO electric link (usato estensivamente soltanto nel network norvegese di piccole navi) o il sistema pneumatico che è più lento ma per le portate in gioco è il più vantaggioso economicamente.

Il collegamento a fibra ottica, che è lo standard nei terminali GNL, non ha giustificazione economica per queste applicazioni.

### 3.3.3 Bracci di carico

I bracci di carico/scarico GNL sono stati sviluppati per usi in grandi impianti con diametri minimi di 12" (DN300). Sono equipaggiati con sistema di supervisione, linea di purging con azoto, connessione per la linea di drenaggio, sviwel joints (il giunto che permette al braccio di sopportare le torsioni indotte dal movimento della nave) e normalmente una linea per il ritorno del vapore ed una per il liquido. Bracci di carico per operazioni di bunkering ship to ship sono in fase di commercializzazione da parte di tutti i principali fornitori.

Dei bracci di carico sono stati installati nelle operazioni di truck to ship (dove le operazioni sono schedate sempre nello stesso attracco) e sono utilizzati in operazioni di carico/scarico serbatoi/autocisterna.



**Figura 8 - Braccio di carico GNL**



**Figura 9 - Bracci di carico da 8 e 6 '' per il carico di una GNL ship fino a a15,000 mc al terminale in Svezia**

Lo scarico con tubi flessibili criogenici è stato sviluppato per le attività di carico/scarico di autobotti da terminali GNL "satellite" e la tecnica è stata ora ulteriormente adattata a sistemi di scarico ship to ship per diametri inferiori ai 16'' (DN400).



**Figura 10 - Scarico GNL mediante tubo flessibile**

Di seguito alcune tecnologie/fornitori per questa tecnologia che è la base per lo studio del Porto di Livorno:

Bluewater and DSM Dyneema Composite Cryogenic hose Sviluppato per operazioni ship to ship 8" (DN200), design pressure =20 bar, GNL transfer capacity: 1,250 mc/h.



**Figura 11 - Tubazione flessibile per GNL Bluewater**

Gutteling composite hoses, Composite, multilayer GNL ship-to-ship transfer hose, diametro 6"-16", design pressure= 10 bar. Testato per condizioni criogeniche in accord a EN 13766, IMO IGC Code e EN 1474-2.



**Figura 12 - Tubazione flessibile per GNL Gutteling**

Trelleline GNL floating hose, from 12" (DN300), Design basato su API 17K e EN 1474-2012



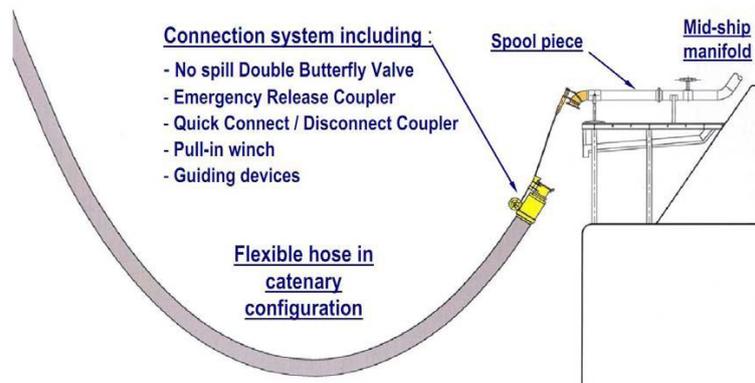
**Figura 13 - Tubazione flessibile Trelleline per GNL**

CryoFlex Gas -200 White Composite hose con fibre interne ed esterne in inox e strati multipli di polyamide fabric.



**Figura 14 - Tubazione flessibile per GNL CryoFlex**

La movimentazione delle tubazioni flessibili viene fatta generalmente attraverso gru, installate sulla nave o a terra. L'utilizzo di un singolo tubo flessibile da 1" - 1<sup>1/2</sup>" è l'attuale tecnologia standard per operazioni bunkering di capacità ridotte, in particolare truck to ship. Per aumentare la capacità di bunkering è necessario o aumentare il numero di linee o aumentare il diametro delle tubazioni (sia liquide che gassose). In operazioni di trasferimento off-shore, la tubazione viene lasciata sospesa su ciascuna estremità (vedi illustrazione sotto), mentre la parte centrale resta appesa liberamente.



**Figura 15 - Tubazione flessibile di carico-scarico GNL - configurazione catenaria**

Il raggio di curvatura minimo è relativamente piccolo (ca. 1 m per DN200). Nonostante la pressione di esercizio sia normalmente inferiore a 6 bar, in casi di emergenza e rapida chiusura delle valvole ESD, sono state misurate sovrapressioni fino 70 bar. Le tubazioni devono essere testate in accordo alla EN13766 per garantire tenuta totale fino a 100 bar di pressione a temperatura ambiente (burst test).

Ad ogni modo l'assetto in catenaria all'interno del porto, seppur non ottimale dal punto di vista della sicurezza, è attualmente lo stato dell'arte della tecnologia. Sono in corso studi per identificare soluzioni migliorative di supporto delle tubazioni e di lancio di queste per la connessione (es. gru telescopiche).

Il processo di rifornimento tra la SEAGAS e il Viking Grace, a Stoccolma, avviene attraverso un tubo flessibile di 6" certificato DNV.

### 3.3.4 Piping, isolamento e valvole onshore

L'ubicazione dello stoccaggio GNL a terra deve essere il più vicino possibile alla riva per minimizzare la lunghezza delle tubazioni.

Le tubazioni criogeniche devono prevedere loop di contrazione per tenere in conto le contrazioni che il materiale, solitamente acciaio inox SS304L, subisce dalla temperatura ambiente a quella di esercizio (-163°C).

Come linea guida generale la piping schedule non è mai inferiore a 10S, i processi di saldatura devono essere qualificati in accordo alla UNI ISO 15614-1.

I sistemi di coibentazione devono garantire la sicurezza degli operatori all'esterno e minimizzare l'ingresso di calore nel sistema. Per queste applicazioni sono normalmente foam based (poliuretano) con particolare attenzione al momento dell'installazione all'assenza di umidità nello strato coibente.

Anche le valvole sono in SS304. Valvole Ball e butterfly sono solitamente usate per questi diametri per le normali operazioni di controllo.

## 4 ESPERIENZA MONDIALE NEL BUNKERING CON GNL

### 4.1 ESPERIENZA NORVEGIA

Il bunkering con GNL è utilizzato da anni in Norvegia con modalità di bunkering truck to ship. Sono state modificate a GNL già 29 navi (merci e passeggeri). Le navi vengono rifornite da autocisterne GNL dedicate che si approvvigionano dagli impianti di liquefazione GNL presenti nel nord della Norvegia e raggiungono i vari scali portuali via terra. Queste operazioni sono limitate dalla ridotta capacità di stoccaggio delle autocisterne (ca. 50 mc) e quindi adatte soltanto ad una tipologia di imbarcazioni con un consumo ridotto e ad una frequenza costante (traghetti locali, ecc.). La limitazione è dovuta anche ai lunghi tempi di caricamento necessari, vincolati da una capacità di trasferimento molto ridotta (< 60 mc/hr). La Norvegia è da sempre pioniera di questo tipo di attività grazie ai numerosi impianti di liquefazione/importazione presenti sul suo territorio e il forte sviluppo che il GNL ha avuto anche a livello civile. Infatti la bassa densità abitativa ed un territorio montuoso non hanno mai permesso lo sviluppo di una rete nazionale dei gasdotti, come nel resto d' Europa, e quindi piccoli impianti satellite di GNL sono stati utilizzati per alimentare le varie reti locali di gas. Dalla necessità di approvvigionare questi stoccaggi GNL disseminati sul territorio e sulla costa si è sviluppata l'industria del trasporto GNL su piccola scala.

### 4.2 ESPERIENZA SVEZIA E MARE DEL NORD

Il porto di Stoccolma è il primo porto in cui da quest'anno è stabilmente in esercizio una imbarcazione dedicata (SEAGAS, 187 mc di stoccaggio GNL), per il bunkering ship to ship del traghetto Viking Grace che copre la rotta Stoccolma-Turku. L'imbarcazione è stata costruita e gestita dalla AGA (gruppo Linde), che approvvigiona il GNL dal proprio impianto di ricezione da 20.000 mc a sud del porto di Stoccolma. Il porto di Stoccolma aveva già sperimentato il bunkering truck to ship ha deciso di passare ad una soluzione ship to ship per ridurre i tempi di rifornimento e garantire la possibilità di bunkering a navi più grandi. Il traghetto Viking Grace ha installato a bordo 2 x 200 mc serbatoi di GNL.

La Svezia pur non possedendo infrastrutture GNL on-shore, ha in progetto di creare una struttura di ricevimento GNL nel porto di Goteborg, da utilizzare come stoccaggio e sistema di distribuzione locale di GNL per il bunkering di navi nel porto. Il GNL arriverebbe via nave attraverso una bunker ship dedicata all'approvvigionamento regionale di GNL. La nave si rifornirebbe ai terminali GNL che si affacciano sul mare del nord (Zeebrugge, Belgio e/o Gate, Olanda). Esistono già esperienze dei primi rifornimenti di una piccola nave storage (Coral GNL) da 7500 mc, che ha già iniziato le operazioni presso il terminale di Zeebrugge, definendo anche le modalità per i primi rifornimenti in back-load di piccole navi presso terminali equipaggiati, fino ad oggi, con infrastrutture di ormeggio e scarico dedicate a grandi navi metaniere.

### 4.3 PROGETTI FUTURI

Sono numerosi in Belgio, Olanda, Germania e Francia i progetti che puntano ad un approvvigionamento diretto di GNL per utilizzo su base locale e bunkering in aree portuali. Tutti

i progetti sfruttano per lo più l'adiacenza a infrastrutture di ricezione GNL, da cui poter ricevere quantitativi di GNL attraverso stazioni di carico/scarico (Germania) oppure attraverso linee dedicate (Il porto di Dunkerque in Francia ha ottenuto il finanziamento dalla EU per lo studio di fattibilità di un sistema di alimentazione dal futuro terminale GNL verso una stazione portuale di rifornimento GNL).

## 5 L'APPROVVIGIONAMENTO DI GNL PER IL PORTO DI LIVORNO

### 5.1 IL PORTO DI LIVORNO

Il Porto di Livorno, unico in Italia, ha la peculiarità di poter disporre di un terminale GNL limitrofo, con il quale studiare sinergie economicamente sostenibili per l'utilizzo di GNL nell'area portuale sia per il bunkering di mezzi marittimi sia per l'utilizzo a terra all'interno del piano di riconversione di mezzi portuali (green cranes).

Purtroppo però la peculiarità di tipologia di terminale GNL (FRSU a largo) non permette di avere GNL direttamente utilizzabile a terra, così come nei casi illustrati al precedente capitolo. Tuttavia, Livorno gode anche della vicinanza ad un altro terminale GNL, l'unico esistente on-shore in Italia, a Panigaglia, in provincia di La Spezia, proprietà di GNL ITALIA (gruppo Snam Rete Gas) con il quale poter studiare sinergie su strada.

Il Porto di Livorno dispone di aree stoccaggio combustibili già ampiamente attrezzate ed idonee a predisporre un sistema minimo di accumulo GNL per gli usi portuali, garantendo sia la sicurezza che l'accessibilità della struttura.

In questo capitolo sono analizzate le varie possibilità per rendere disponibile GNL al Porto di Livorno, per individuare quelle che possono avere uno sviluppo in termini economici, autorizzativi e tecnologici compatibile con le esigenze immediate del Porto di Livorno.

### 5.2 APPROVVIGIONAMENTO INDIPENDENTE DI GNL VIA TERRA

Questa ipotesi prevede la possibilità di rifornire un sistema di stoccaggio interno al porto di Livorno attraverso autocisterne di GNL da reperire sul mercato. Benché il mercato GNL su ruota non sia ancora maturo in Italia, esiste la possibilità di commercializzare contratti di approvvigionamento con privati (esempio *Liquigas*, *Polargas*) anche con l'opzione di avere in comodato d'uso le infrastrutture di ricezione/stoccaggio intermedio di GNL. Questi contratti sono della durata tipica media di 5 anni. Le previsioni scommettono su una forte crescita del GNL su ruota grazie ai possibili sviluppi nel mercato dell'autotrazione, specialmente nel Nord Italia.

Il GNL su gomma in Italia, dalle informazioni a disposizione, è approvvigionato da terminali di tutta Europa (Huelva a Barcellona è il più utilizzato con una frequenza che non supera però i 50-100 mc/settimana). Un accordo diretto con il terminale GNL di Panigaglia renderebbe i tempi di approvvigionamento relativamente corti e certi, minimizzando le necessità di avere uno stoccaggio intermedio nell'area portuale (es. 50 mc). Infatti lo stoccaggio intermedio ha, in tutte le soluzioni studiate, la funzione di garantire una continuità di fornitura al porto anche in caso di ritardi nelle forniture a monte.

Se la soluzione fosse ritenuta ottimale è anche possibile ipotizzare la gestione diretta di autocisterne GNL con un accordo diretto con la GNL Italia (Impianto di Panigaglia). L'impianto di Panigaglia, in esercizio dal 1971, pur non possedendo al momento infrastrutture per la vendita diretta di GNL, potrebbe attrezzarsi con costi di impianto relativamente bassi, ovvero

prevedendo una linea dedicata per il carico di cisterne ed una stazione di caricamento. Non si prevedono, dati i volumi in gioco, problematiche autorizzative particolari.

Questa soluzione ricalcherebbe esattamente l'esperienza di bunkering con GNL che dal 2000 è operativa in Norvegia, con i limiti evidenziati di poter garantire il rifornimento soltanto ad un volume limitato di mezzi navali, soltanto all'interno del porto, a causa dei volumi necessari ed al lungo tempo di rifornimento. D'altro canto la soluzione sarebbe l'ideale per iniziare la sperimentazione sui mezzi di movimentazione portuale come richiesto dal programma Green Cranes.

La soluzione è sicuramente quella più semplice, fattibile e con minori costi di realizzazione. Dall'altro lato però è una soluzione che non premia le peculiarità del Porto di Livorno e può essere ripetuta in qualsiasi porto Italiano del Nord.

La soluzione potrebbe anche essere studiata come soluzione iniziale per poi arrivare nel medio termine a soluzioni più complesse (ed onerose) con il coinvolgimento di OLT.



**Figura 16 - Rifornimento GNL Truck-To-Ship (TTS)**

**PRO:**

- costi Capitali minimi
- soluzione tecnologicamente e commercialmente semplice e matura
- impatto infrastrutturale sul porto minimo

- possibilità di ampliamento futuro con altre tecnologie off-shore

**CONTRO:**

- non peculiare per Livorno
- bunkering RoRo e grandi imbarcazioni non praticabile
- costi di approvvigionamento legati ad un mercato non ancora maturo

**5.3 APPROVVIGIONAMENTO INDIPENDENTE DI GNL VIA MARE**

L'ipotesi presa in considerazione è quella di sfruttare i traffici GNL indotti dal terminale FRSU per creare un sistema di scarico on-shore dove allibare le navi di approvvigionamento del FRSU. Questa soluzione permetterebbe di evitare qualsiasi interfaccia fisica con il terminale FRSU, realizzando un accordo commerciale di cessione di quota parte del GNL commercializzato attraverso un doppio scarico della metaniera sulla FRSU e successivamente a terra. A terra sarebbe necessaria una struttura con un attracco dedicato vicino costa ed un sistema di stoccaggio. L'ipotesi è quella di individuare un attracco esposto, al di fuori dell'area portuale, in un'area industriale dove possano coesistere serbatoi di stoccaggio gas liquido. L'attracco non prevedrebbe l'utilizzo di pontile, ma di tubazioni criogeniche sottomarine. La soluzione dati i ridotti diametri richiesti per le tubazioni di scarico è sicuramente perseguibile.

Benché esistano sistemi simili utilizzati in altri terminali GNL nel mondo (Negishi terminal in Giappone e Cove Point, negli USA), la soluzione, per essere sostenibile dal punto di vista economico, si dovrebbe basare su quantitativi di GNL di un ordine di grandezza superiore a quelli attualmente presi in considerazione. Inoltre, le problematiche autorizzative di un nuovo attracco e di uno stoccaggio dedicato considerevole a terra rendono la soluzione impraticabile.

**PRO:**

- infrastrutture indipendenti da operatori terzi
- approvvigionamento long term direttamente con shipper senza legarsi ad una singola infrastruttura di ricezione
- ampia disponibilità GNL a terra che potrebbe permettere sinergie più ampie (industria del freddo, ecc.)

**CONTRO:**

- alti costi iniziali
- iter autorizzativo rischiosissimo
- sostenibile solo se volumi di GNL in gioco considerevoli (le controscallie della nave di grandi dimensioni inciderebbero in maniera insostenibile sul prezzo GNL)

#### 5.4 APPROVVIGIONAMENTO GNL A TERRA VIA TUBAZIONE DA FRSU

La soluzione prevede di importare GNL a terra dal terminale FRSU al largo tramite una tubazione dedicata (tipo oleodotto). Dati i volumi in gioco la tubazione avrebbe un diametro di circa 1" + coibentazione. La tubazione trasporta GNL ad una temperatura di -163°C e richiede quindi una tipologia particolare di tecnologia studiata ad-hoc per tubazioni criogeniche sottomarine. Esistono diverse soluzioni tecnologiche tutte referenziate ed industrialmente mature per questo tipo di tecnologia che in linea di massima potrebbe essere in acciaio speciale al 36% Ni per evitare la necessità di loop di contrazione e comunque con un sistema "incamiciato" per garantire la coibentazione rispetto all'acqua marina ed evitare il congelamento esterno. Il tubo avrebbe poi comunque la necessità di una protezione esterna per evitare rischi di impatto o di interferenza con terzi (strascico, ecc.). Inoltre anche se non esiste una bibliografia al riguardo sarebbe comunque necessaria una qualche area di rispetto ed una opportuna segnalazione sulle mappe. La prima ipotesi è quella di prevedere per la tubazione un percorso adiacente all'attuale gasdotto (ca. 28 km a mare), fino a poi staccarsi per giungere nelle adiacenze del porto da dove proseguire a terra.

Ad oggi non esistono sistemi di tubazione GNL criogenico liquido sottomarino neanche lontanamente paragonabili a queste lunghezze, anche se i piccoli diametri in gioco potrebbero aiutare nell'individuare una soluzione impiantisticamente fattibile.

L'altro rischio tecnologico risiede nel sistema di collegamento tra la FRSU, che si muove a bandiera intorno alla boa centrale, ed il fondo del mare fisso. Il problema è stato già, con un notevole sforzo economico e tecnologico, affrontato da OLT per lo sviluppo del sistema di scarico del gas naturale in pressione verso il gasdotto. La problematica principalmente meccanica sta nel progettare "ad-hoc" un sistema di giuntura criogenico che garantisca la rotazione del giunto a 360° ed al contempo la tenuta per evitare fuoriuscite di GNL a bordo FRSU. Anche la soluzione a questa tematica potrebbe però essere facilitata dalle ridotte dimensioni della tubazione.

A terra sarebbe poi necessario ipotizzare un sistema di stoccaggio minimo, considerando la continuità dell'approvvigionamento via tubo. Si possono prevedere poi diversi posizionamenti dello stoccaggio, ottimizzando il percorso della sealine e l'ubicazione della stazione anche dal punto di vista autorizzativo e di disponibilità aree. Di seguito alcune ipotesi di posizionamento:

- a) **Stazione di stoccaggio esterna al porto (es. Navicelli):** in questa ubicazione la tubazione andrebbe ad alimentare una stazione di stoccaggio/rifornimento di autocisterne per fare la spola con le utenze nel porto come nel caso 5.2. In questa configurazione non si ravvedono i benefici della soluzione rispetto all'approvvigionamento diretto su gomma (par. 5.2).
- b) **Stazione di stoccaggio esterna al porto ma con possibilità di ormeggio bettoline:** rispetto al caso precedente, oltre alle autocisterne, sarebbe possibile rifornire una bettolina per il bunkering di GNL per RoRo e grandi navi. Questa soluzione avrebbe il primo grande vantaggio rispetto al caso di cui al paragrafo 5.2 di disporre di volumi di

GNL a terra tali da poter pianificare un sistema di bunkering ship to ship nel porto o direttamente alla fonda.

- c) **Stazione di stoccaggio interna al porto:** stessi vantaggi del punto precedente, ma permetterebbe la possibilità di studiare un sistema di distribuzione GNL fisso nel porto minimizzando l'uso di autocisterne. La valutazione quantitativa dei vantaggi rispetto a b) è possibile soltanto a valle della definizione di un'area esterna per comparazione.

**PRO:**

- quantitativi GNL a terra continui e sicuri. Possibilità di ipotizzare sistema distribuzione GNL in porto
- possibilità di ipotizzare sistema integrato con bettolina bunkering.

**CONTRO:**

- alti costi iniziali
- rischi tecnologici da affrontare nel dettaglio
- sostenibile rispetto a soluzione su gomma solo se volumi di GNL in gioco garantiti considerevoli.

## **5.5 APPROVVIGIONAMENTO GNL SU PIATTAFORMA AL LARGO VIA TUBAZIONE DA FRSU**

La soluzione è uguale alla 5.4, ma prevede di importare GNL tramite una tubazione dal FRSU non a terra ma appena al di fuori della fascia di rispetto del terminale FRSU su una piattaforma dalla quale poter caricare delle bettoline GNL. La soluzione permetterebbe di superare parzialmente le problematiche tecnologiche ed autorizzative della lunga linea criogenica fino a terra, anche se il sistema criogenico sottomarino ed il sistema di giuntura tra la linea e la FRSU resterebbero comunque da studiare integralmente.

Dall'altro lato si renderebbe necessaria l'autorizzazione e costruzione di un approdo su pali dedicato a bettoline GNL, per effettuare il bunkering di navi RoRo in porto o alla fonda.

La costruzione di una piattaforma per queste esigenze porta sicuramente a rischi autorizzativi (santuario dei cetacei ecc.) aggiuntivi.

Dal punto di vista di complessità tecnologica, data la profondità di 100 -120 m nella zona adiacente al rigassificatore, sicuramente l'installazione di una piattaforma su pali è proibitiva e comunque non giustificabile per un servizio così ridotto.

E' necessario effettuare un'analisi di ottimizzazione tra la lunghezza della tubazione e la profondità del mare, ma la prima analisi qualitativa porta a ritenere che comunque l'elevato costo della piattaforma porterebbe ad una ubicazione prossima alla riva e quindi andando a

coincidere con le soluzioni di cui al 5.4, con l'aggravio della impossibilità di fornire GNL direttamente a terra per il rifornimento dei mezzi portuali.

La soluzione è quindi da ritenersi impraticabile e non sostenibile

## 5.6 APPROVVIGIONAMENTO GNL DA FRUSU VIA NAVE

Ad eccezione della soluzione via terra, l'analisi di tutte le altre alternative "off-shore" ha evidenziato rischi tecnologici, autorizzativi e comunque una difficile sostenibilità economica.

Per premiare comunque la possibilità, peculiare di Livorno, di avere a disposizione GNL a sole 13 miglia dall'area portuale, si è cercato di analizzare anche una soluzione che potesse minimizzare gli impatti evidenziati per le altre soluzioni da FRUSU.

Le analisi di mercato dei futuri trend per il bunkering GNL evidenziano come tutti i grandi porti del Nord Europa si stanno muovendo verso soluzioni che permettano il bunkering attraverso bettoline o navi dedicate, in modo da poter aumentare i quantitativi di GNL di bunkering e velocizzare il rifornimento rispetto alle soluzioni tradizionali in banchina con autocisterna.

Questa soluzione è vista come la più flessibile per poter rifornire navi di grande stazza che possono avere esigenze di quantitativi di bunkering molto differenti.

Infatti il bunkering via autocisterna ad oggi si è sviluppato soprattutto per traghetti, ovvero navi relativamente piccole che compiono un tragitto ripetitivo e costante e quindi con una facile previsione della frequenza e quantità di GNL necessario.

Nel piano logistico futuro di questi porti, la bettolina si carica di GNL a terra in un'area di stoccaggio dedicata asservita al porto, per poi andare a rifornire le grandi navi ro/ro o ro/pax. A sua volta l'area di stoccaggio è collegata ad un impianto di rigassificazione più grande o via pipeline (raramente) oppure attraverso navi GNL "regionali" che compiono un servizio di rifornimento per i vari porti.

Per il porto di Livorno deve essere prevista una soluzione logistica "ad-hoc" senza introdurre però novità tecnologiche che ne mettano a rischio la fattibilità nel breve periodo.

L'ipotesi studiata prevede l'utilizzo di una bettolina (*GNL bunker vessel*) in grado di rifornirsi direttamente dal FRUSU della OLT e da questo portare il GNL direttamente al porto, per caricare le autobotti per il rifornimento dei mezzi di trasporto (eventualmente mediante un sistema di stoccaggio minimo) e poi andare ad effettuare un bunkering ship to ship per le navi ro/ro o nel porto o nell'eventualità, in condizioni meteo favorevoli, anche alla fonda al di fuori del porto.

Il rifornimento del bunker vessel dalla FRUSU richiederà ovviamente interventi impiantistici e strutturali a bordo dell'impianto OLT.

Nell'ipotesi di minimizzare l'impatto sul processo principale di rigassificazione, si prevede che debba essere creato un serbatoio di bunkering intermedio a bordo dalla FRUSU, che viene alimentato da una piccola derivazione della linea GNL di processo principale (ipotizziamo 15 mc/hr pari a ca. 1% della portata di uscita dai serbatoi GNL). Il serbatoio avrebbe al suo interno

la pompa di scarico per ricaricare il bunker vessel in tempi previsti nell'ordine di 1-2 ore a seconda della dimensione. In alternativa si può anche ipotizzare di alimentare direttamente la bunker vessel con le pompe principali dell'impianto di rigassificazione, ma questa ottimizzazione deve essere studiata nel dettaglio con OLT.

L'altra linea di connessione necessaria è per il ritorno del Boil-off Gas dalla GNL bunker vessel, spazzato durante il caricamento che deve essere gestito direttamente a bordo della OLT. Anche in questo caso i volumi in gioco sono assolutamente gestibili dal sistema di ricondensazione del terminale.

E' ipotizzabile la necessità di avere anche un collegamento tra i sistemi di controllo per condividere i principali parametri operativi e i segnali di emergenza delle 2 navi.

Oltre alle connessioni di processo è necessario prevedere una piattaforma di attracco dedicato per la bunker vessel sulla parete della FRSU, attrezzato con fendering ed un sistema di ormeggio che minimizzi lo spostamento relativo tra le 2 imbarcazioni. Inoltre la struttura della piattaforma dovrà essere progettata per evitare lo sversamento in mare di GNL per evitare rischi di RPT (Rapid Phase Transition), cioè di una espansione veloce del liquido criogenico a contatto dell'acqua di mare che provoca un'onda d'urto paragonabile ad una esplosione.

L'infrastruttura di connessione ed il sistema di scarico a bordo della FRSU, sebbene debbano essere sicuramente ingegnerizzati nel dettaglio in maniera congiunta tra OLT, il designer del bunker vessel e le autorità di controllo competenti, non hanno in se nessuna novità tecnologica o di processo che non sia mutuabile da altre esperienze industriali, anche nel bunkering GNL, o come ad esempio per il sistema di accosto, dalla stessa esperienza OLT per lo scarico tra 2 metaniere.

Ad oggi non esiste ancora una normativa ufficiale per la procedurizzazione del bunkering ship to ship, anche se la OLT stessa è il pioniere a livello mondiale di questa modalità di scarico con stazze e volumi di GNL ben superiori.

Il rischio principale è ovviamente quello di un impatto tra la bettolina e la FRSU, anche se le velocità in gioco e le diverse stazze dovrebbero permettere tutte le operazioni senza l'ausilio di rimorchiatori.

La vicinanza tra area portuale e FRSU possono garantire una continuità di approvvigionamento che può minimizzare il numero di GNL bunker vessel, le sue dimensioni ed anche la necessità di stoccaggi a terra e quindi minimizzare l'investimento economico.

La determinazione della stazza necessaria per la bettolina è basata sulla previsione e sulle stime di utilizzo di GNL all'interno del porto di Livorno per un futuro prossimo. E' chiaro che il sistema così come pensato offre la massima flessibilità per un futuro raddoppio del numero di imbarcazioni ad esempio nel caso di ampliamento del raggio di consegna anche al porto di Piombino oppure a scali turistici come Viareggio o Marina di Pisa, oppure ad un ampliamento della parte in banchina per avere sistemi di caricamento dedicati ad esempio per i traghetti.

Ad oggi esistono in Europa 2 GNL bunker vessel in esercizio: la SEAGAS, in Svezia, e la Pioneer Knutsen, in Norvegia.

La SEAGAS è in funzione da Marzo 2013 porto di Stoccolma. Si tratta di una piccola nave GNL da 187 mc, operata da AGA AB e dedicata al rifornimento del traghetto *Viking Grace* che giornalmente copre la rotta Stoccolma-Turku.



**Figura 17 - La GNL bunker vessel SEAGAS durante il bunkering del traghetto Viking Grace**

La SEAGAS è la prima GNL fueling vessel dedicata al bunkering ship to ship trasportando il GNL dal terminale di rigassificazione di Nynäshamn a sud del porto di Stoccolma sempre di proprietà della AGA.

La nave è stata costruita dal rifacimento completo del M/F Fjalir un vecchio traghetto open-deck per il trasporto di autovetture e passeggeri nella foto sotto, a dimostrazione che la tecnologia per questo sistema di bunkering vessel è già disponibile.



**Figura 18 - La GNL bunker vessel SEAGAS (Svezia)**

La Pioneer Knutsen, operata dalla GASNOR (Shell Norway), ha una capacità di 1100 mc di GNL e rifornisce una serie di piccoli terminali GNL satelliti sulla costa norvegese, per servizi di bunkering in porto o per rifornire zone non collegate alla rete nazionale gas dal 2004. La Pioneer Knutsen è già stata utilizzata per trasferimenti ship to ship e sono in corso le modifiche necessarie per permettere in maniera continuativa il bunkering ship to ship di GNL.

Di seguito le principali caratteristiche della nave:

Vessel type:	GNL Tanker
Gross tonnage:	1,687 tons
Summer DWT:	817 tons
Length:	70 m
Beam:	12 m
Draught:	3.6 m



**Figura 19 - La GNL bunker vessel Pioneer Knutsen (Norvegia)**

La terza metaniera ad oggi più piccola è la Coral Methane (6500 mc) che ha la peculiarità di poter trasportare anche LPG.



**Figura 20 - La metaniera Coral Methane durante le operazioni di rifornimento presso il terminale GNL di Zeerbrugge (primo caricamento di GNL bunker vessel da terminale GNL)**

Questi ultimi 2 esempi di GNL bunker vessel sono state progettate per una funzione di rifornimento regionale di GNL e quindi con volumi ed esigenze di navigabilità superiori a quelle necessarie in una prima fase per l'area di Livorno.

L'esperienza della SEAGAS sviluppata dalla società AGA del gruppo Linde dimostra invece come, una volta consolidato adeguatamente il fabbisogno di GNL nel porto, la soluzione con bunkering ship to ship sia quella più perseguibile.

Sono in corso di progettazione ed hanno già ottenuto le certificazioni DNV, altri design di GNL vessel che dimostrano il grande fervore industriale dietro questa nuova frontiera di imbarcazioni.

Di seguito alcuni esempi di imbarcazioni, che sono in fase di progettazione/costruzione:



**Figura 21 - WS1 Prototipo della Whitesmoke, UK, che prevede capacità tra 700 e 1400 mc di GNL e la possibilità di effettuare in parallelo bunkering sia di GNL che di HFO**



**Figura 22 - GNL barge della NLI/Rolls's Royce/DNV, UK, con una capacità di 4000 mc di GNL**



**Figura 23 - L1 della FKAB, Sweden con capacità di stoccaggio GNL 700 mc e 500 HFO**



**Figura 24 - GNL bunker barge della Warstilia con stoccaggio GNL di 300 mc**

## 5.7 CONCLUSIONI DELLA ANALISI PER IL PORTO DI LIVORNO

Dall'analisi delle soluzioni valutate emerge come soltanto due alternative per l'approvvigionamento di GNL sembrano ad oggi praticabili:

- a) Rifornimento a terra tramite approvvigionamento GNL "dal mercato" o con accordi diretti con GNL ITALIA di Panigaglia, La Spezia.
- b) Rifornimento da FRSU tramite vessel dedicato.

Tutte le altre soluzioni di collegamento fisico tra FRSU e terra non risultano al momento praticabili né economicamente sostenibili.

Il rifornimento a terra è una soluzione semplice, di facile implementazione/autorizzazione e con costi di investimento minimi. Sicuramente non è una soluzione che premia la specificità di Livorno e comunque da sola non sarebbe sufficiente a rendere Livorno un porto dove è possibile il bunkering di GNL di più tipologie di navi.

La soluzione con vessel dedicato che faccia da spola tra OLT, la banchina per i servizi di GNL a terra e le navi per bunkering ship-to-ship diretto è sicuramente l'ipotesi che proietta il porto verso ciò che sembra essere la tendenza dei maggiori porti del Nord Europa. Per questa soluzione è però necessaria una partnership commerciale e tecnica in primis con OLT, che diverrebbe fornitore unico del GNL o comunque gestore dell'unico punto di approvvigionamento del combustibile.

Le due soluzioni potrebbero anche essere complementari, ipotizzando una fase I nel breve periodo, con l'implementazione di una linea di terra per iniziare il rifornimento ai mezzi portuali (green cranes) e sperimentare una forma di bunkering truck-to-ship o comunque shore-to-ship per rimorchiatori e/o traghetti, utilizzando contratti di fornitura GNL e infrastrutture in comodato.

In parallelo a questa prima fase implementare con OLT una GNL bunkering vessel che nel medio periodo andrebbe a rifornire il porto con bunkering ship-to-ship e sostituire in banchina la fornitura via gomma di fase I.

Nel successivo capitolo è riportata una prima valutazione tecnico -economica delle possibili applicazioni di queste soluzioni nel porto di Livorno.

## 6 ANALISI TECNICO-ECONOMICA BUNKERING LIVORNO

### 6.1 CASI DI STUDIO

Partendo dalle conclusioni del capitolo precedente, si è proceduto, per diversi profili di fabbisogno futuro di GNL, ad analizzare soluzioni tecniche di trasporto, stoccaggio e distribuzione nel porto di Livorno.

Per gli sviluppi di conversione della flotta a terra si è fatto riferimento ai risultati dello studio *Green Cranes* che per Livorno prevede, come ipotesi di sviluppo, una conversione dei mezzi reach stackers. Per il caso 1 si è ipotizzato che 3 mezzi possano essere convertiti a GNL nel breve periodo fino ad arrivare a 14 per il caso 4.

Per gli sviluppi di conversione della flotta a mare si è proceduto ad una ipotesi iniziale che ricalca l'esperienza attuale dei porti del Nord Europa, di avere la conversione di alcuni mezzi portuali "dedicati", ovvero con una frequenza di rifornimento costante in modo da poter facilmente dimensionare il sistema di distribuzione. L'ipotesi iniziale è di avere 2 rimorchiatori convertiti per poi giungere ad un traghetto (ip. Livorno-Olbia) nel medio periodo.

Partendo dall'attuale distribuzione del Porto di Livorno, è stata ipotizzata una condizione di lungo periodo (simulando una percentuale di conversione della flotta internazionale a GNL che potrebbe rifornirsi a Livorno). Inoltre è stato ipotizzato che fino ad 8 rimorchiatori e 5 ferry dedicati possano essere riconvertiti nel lungo termine.

Questa ultima simulazione non pretende di essere una base di progetto, in quanto lo scrivente non ha a disposizione dati certi di possibili sviluppi della flotta internazionale nel Mediterraneo, ma soltanto una simulazione per dare una stima della flessibilità del sistema studiato per seguire un possibile trend futuro del mercato bunkering di GNL.

Il fabbisogno di GNL è basato su delle ipotesi di sviluppo della flotta GNL a terra e marittima secondo il seguente schema:

CASI	Mezzi convertiti	Fabbisogno annuo GNL	Tipologia di approvvigionamento
<b>CASO 1</b>	• 3 reach stackers 100% GNL	222 mc	via terra
<b>CASO 2</b>	• 3 reach stackers 100% GNL • 2 rimorchiatori dedicati	3218 mc	via terra
<b>CASO 3</b>	• 3 reach stackers 100% GNL • 2 rimorchiatori dedicati • 1 traghetto dedicato	34.418 mc	a) GNL ITALIA b) OLT
<b>CASO 4</b>	• 14 reach stackers 100% GNL • 8 rimorchiatori • 5 traghetti dedicato • traffico RoRo internazionale	226.320 mc	OLT

**Tabella 1 - Casi di studio**

Tutte le soluzioni sono state studiate cercando di minimizzare il volume di stoccaggio in banchina al fine di rendere l'impatto sulle banchine esistenti e l'iter di accettazione più semplice. Il volume di stoccaggio è un polmone necessario per gestire le fluttuazioni dell'approvvigionamento a monte, oltre a garantire una riserva in caso di mancato rifornimento. Tanto maggiore è la richiesta di disponibilità e di continuità del servizio di distribuzione tanto più lo stoccaggio deve essere capiente (come nel caso dei grandi impianti di rigassificazione).

Nel caso specifico, considerando che lo sviluppo del mercato bunkering con GNL deve ancora consolidarsi, si è preferito optare per soluzioni con stoccaggi minimi e, quindi, con costi capitali e di superfici necessarie ridotti, a discapito della sicurezza dell'approvvigionamento.

Ad ogni modo gli impianti sono pensati con tipologie di serbatoi modulari e quindi con facilità di ampliamento in base alle reali esigenze commerciali future.

I casi studiati, anche se applicabili indipendentemente, sono stati pensati per poter sviluppare in maniera progressiva nel tempo soluzioni più complesse (e onerose) al maturare delle condizioni di mercato. Ogni soluzione è quindi pensata come ampliabile per soddisfare le esigenze future successive (es. il caso 2 è l'ampliamento del caso 1 e così via). I casi proposti sono soluzioni di studio che potranno poi essere adattati con maggior dettaglio una volta note le condizioni reali di fabbisogno GNL del porto.

## 6.2 STIMA DEI FABBISOGNI DI GNL PER REACH STACKERS

La stima delle quantità di GNL necessario per l'approvvigionamento completo del parco reach stackers del Porto di Livorno è stato desunto dallo studio sviluppato all'interno del progetto Green Cranes (fonte Autorità portuale anno 2011) e riassunto nella seguente tabella:

consumo annuo n. 14 Reach Stackers	550	mc diesel
ore di funzionamento	40000	ore
densità energetica diesel	10,7	kWh/l
Perdita di efficienza GNL/diesel	15%	%
densità energetica GNL	6,60	kWh/l
ipotesi 100% conversione della flotta di 14 RS	<b>1029,3</b>	mc GNL anno
ipotesi 100% conversione della flotta di 14 RS	19,8	mc GNL/settimana
ipotesi 100% conversione della flotta dual fuel	514,6	mc GNL anno
ipotesi iniziale 3 RS 100% GNL	<b>220,55</b>	mc GNL anno
ipotesi iniziale 3 RS 100% GNL	4,24	mc GNL/settimana
ipotesi iniziale 3 RS 100% GNL	4,32	riempimenti/anno

**Tabella 2 - Stima fabbisogno GNL per reach stackers**

Per una singola reach stackers convertita 100% GNL sono necessari circa 70 mc/anno di GNL.

Lo studio Green Cranes ha identificato la soluzione dual fuel come l'ottimo per Livorno. Questa scelta, anche se con benefici ambientali ridotti, è stata giustificata dall'assenza di una fonte di

approvvigionamento sicuro di GNL nel Porto. Ai fini del presente studio, invece, si è ipotizzato una conversione completa in quanto le soluzioni di approvvigionamento studiate minimizzano il rischio di cui sopra.

L'ipotesi fatta è di avere almeno 3 Reach Stackers inizialmente convertite per rendere l'iniziativa economicamente sostenibile. Nella simulazione del caso "long-term" (ipotesi 2020) si è ipotizzato un successivo riammodernamento dell'intera flotta fino a giungere ad una completa conversione a GNL.

### 6.3 STIMA DEI FABBISOGNI DI GNL PER MEZZI MARITTIMI

La stima delle quantità di GNL necessario per l'approvvigionamento completo dei mezzi marittimi del Porto di Livorno è stata effettuata applicando alla flotta di rimorchiatori presenti nel porto i dati di letteratura disponibili su riconversioni similari.

La soluzione tecnica individuata ipotizza la riconversione di un traditional tug esistente a Livorno con una potenza installata tipica a bordo di ca. 2000 kW che, dato lo stoccaggio ipotizzato, prevedrebbe un rifornimento/settimana.

Inoltre, si è ipotizzata la riconversione di un traghetto ro-ro/Pax di rotta Livorno-Olbia con una potenza installata di ca. 45.000 kW, con ipotesi di stoccaggio GNL a bordo tale da poter garantire autonomia per andata e ritorno.

MEDIO TERMINE	Rimorchiatori	Traghetto (tipo Mega Express)
unità convertite	2	1
potenza installata a bordo [kW]	2000	46800
stoccaggio GNL a bordo [mc]	36	150
fattore di utilizzo	80%	80%
numero rifornimenti settimanali	1	5
rifornimenti annui totali	104	260
volume totale GNL annuo [mc]	2995,2	31200

**Tabella 3 - Ipotesi di riconversione a GNL mezzi marittimi nel breve termine (CASO 3)**

LUNGO TERMINE (> 2020)	Rimorchiatori	Traghetto (tipo mega express)
unità convertite	8	5
potenza installata a bordo [kW]	2000	46800
stoccaggio GNL a bordo [mc]	36	150
fattore di utilizzo	80%	80%
numero rifornimenti settimanali	1	5
rifornimenti annui totali	416	1300
volume totale GNL annuo [mc]	11980,8	156000

**Tabella 4 - Ipotesi di riconversione a GNL mezzi marittimi "dedicati" nel lungo termine (CASO 4)**

La tabella 4 riporta le ipotesi per il lungo termine: ampliare la riconversione a 8 unità tug e a 5 traghetti simili.

Per la stima dei traffici marittimi internazionali futuri "non dedicati" e cioè che dovrebbero poter semplicemente effettuare servizio di bunkering a spot nel Porto di Livorno, la stima è stata fatta partendo da una simulazione dei traffici attuali del Porto (stima Autorità Portuale 2012), ai quali è stata applicata un'ipotesi di riconversione mediata su dati di letteratura. Anche se in letteratura sono disponibili studi della stima di riconversione al 2020/30 della flotta internazionale, tutti questi studi variano sensibilmente tra loro e si è quindi preferito non entrare nel dettaglio di questa analisi che al momento appare non necessaria per definire le potenzialità del sistema. Inoltre tutti questi studi hanno una forte focalizzazione verso traffici del Nord Europa che non sono direttamente applicabili al caso specifico in esame.

Ship types Size Average bunkering	stoccaggio GNL a bordo [mc]	% di arrivi con bunker GNL al 2020	arrivi in porto al 2020	% di riconversione GNL della flotta al 2020	numero di rifornimenti annui	quantità GNL necessario (2020)
Small RoRo/RoPax <180m	320	5%	0	60%	0	0
Large RoRo/RoPax >180m	640	5%	0	16%	0	0
Small tankers <25,000 DWT	2400	5%	600	6%	1,8	3456
Large tankers 25,000-200,000 DWT	8000	5%	0	0%	0	0
Small Bulk Carriers <35,000 DWT	2400	10%	175	10%	1,75	3360
Large Bulk Carriers >35,000 DWT		5%	0	0%	0	0
Small Container Vessel <2,000 TEU	2400	10%	700	2%	1,4	2688
Large Container Vessel 2,000-8,000 TEU	8000	5%	150	0%	0	0
Very Large Container Vessel >8,000 TEU	16000	5%	50	0%	0	0
Small General Cargo Vessel <5,000 DWT	1600	5%	1500	45%	33,75	43200
Large General Cargo Vessel >5,000 DWT	3200	5%	600	6%	1,8	4608
Fishing Vessel All sizes	36		0	17%	0	0
TOTALE [mc GNL]						<b>57312</b>

**Tabella 5 - Ipotesi di riconversione a GNL mezzi marittimi "non dedicati" nel lungo termine (CASO 4)**

#### 6.4 CASO 1 – RICONVERSIONE REACH STACKERS

Il primo caso studiato prevede la sola riconversione di 3 mezzi reach stackers come previsto dallo studio Green Cranes. E' una soluzione iniziale, facilmente implementabile con tecnologie mature per il mercato che non prevede nessun investimento nei mezzi portuali. Può essere vista come una soluzione ponte per progettare, sviluppare e rendere operativa la conversione di mezzi navali.

La soluzione necessita annualmente di ca. 220 mc di GNL pari a circa 4 rifornimenti di autocisterna/anno.

Le infrastrutture necessarie al porto sono:

- a) una stazione di rifornimento GNL
- b) uno stoccaggio di GNL pari come minimo alla capacità di trasporto dell'autocisterna (60 mc)
- c) un eventuale mezzo mobile per la distribuzione del GNL nel porto

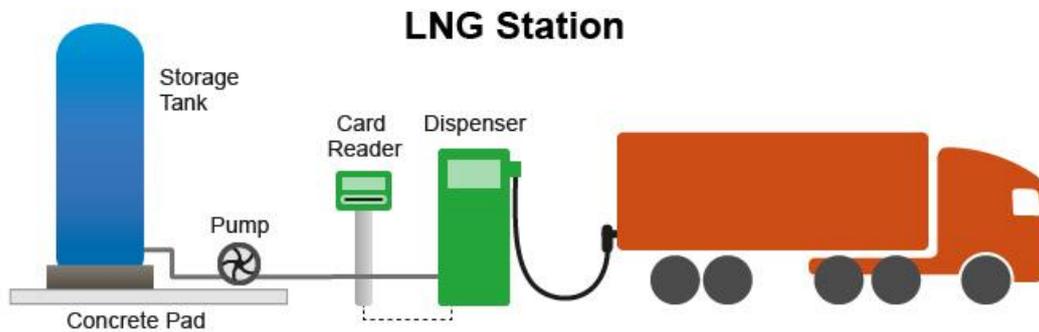
Ipotizzando questa soluzione come self-standing, le quantità di GNL in gioco non giustificerebbero la costruzione di infrastrutture dedicate di proprietà della Autorità Portuale, ma sarebbe più logico prevedere una installazione in comodato d'uso gestita, mantenuta ed operata sotto un unico contratto di fornitura da azienda specializzata. Le aziende oggi operanti sul mercato si riforniscono da terminali GNL in Europa (Huelva Barcellona) ed hanno ampie potenzialità per gestire questo aumento di volume nel giro d'affari.

Tecnologicamente la soluzione necessita di un serbatoio di stoccaggio da 50/60 mc e di una stazione di rifornimento con un sistema di pressurizzazione del GNL a ca. 8 bar o tramite pompe sommerse o tramite vaporizzatore (entrambi le tecnologie sono disponibili e mature).

In questa ipotesi minima non si è previsto lo sviluppo di un mezzo di trasporto interno al porto che permetta il rifornimento dei reach stacker, in quanto troppo piccolo e quindi fuori taglia di mercato e non economicamente giustificato. L'ipotesi è quindi quella di avere i reach stacker che si vanno a rifornire direttamente alla stazione. Quindi l'ubicazione migliore per questa stazione sarebbe in uno spazio (10x10 m) baricentrico all'area di lavoro dei mezzi, dove sia semplice l'accesso.

L'ubicazione finale dipende dalla strategia che si vuole adottare per questa stazione di rifornimento: se nel breve termine è previsto l'ampliamento a volumi di GNL per i traffici marittimi allora la soluzione economicamente ottimale sarebbe quella di integrare la stazione di rifornimento in un'area in banchina dove in futuro sarà ampliato lo stoccaggio GNL per servizi di bunkering navale e approvvigionamento da OLT.

Se invece le due soluzioni si vogliono mantenere separate ed indipendenti sia temporalmente che come funzionalità (es. la stazione di rifornimento potrebbe essere ampliata ad altri usi come mezzi pubblici, ecc.) allora la soluzione consigliata è di procedere con l'installazione di una stazione di rifornimento nel porto, che inizialmente sia rifornita dal mercato su gomma e che in futuro verrà rifornita direttamente dallo stoccaggio in banchina attraverso un'autobotte dedicata.



**Figura 25 - Stazione di rifornimento GNL per veicoli terrestri**

La valutazione economica seguente è indipendente dalla scelta sull'ubicazione.

Come detto in precedenza, per una soluzione di questo tipo self-standing senza previsioni di integrazione con bunkering marittimo, la soluzione consigliata è quella di un contratto di fornitura omnicomprensivo.

In questo studio si è invece ipotizzato il costo dell'infrastruttura di proprietà pari a **600.000 €** inclusivo di una stazione di rifornimento con stoccaggio criogenico da 60 mc, sistema di caricamento, sistemi ancillari (antincendio, ecc.) e preparazione dell'area. E' escluso il costo dell'acquisizione delle aree.

Di seguito i risultati:

consumo annuo di GNL [mc]	222
consumo medio settimanale [mc]	4,2
capacità di truck [mc]	60
utilizzo truck	85%
numero di truck/anno	4,32
volume stoccaggio [mc]	60,0
riempimenti annui del serbatoio	4,59
numero di truck a settimana	0,08
no. di truck al giorno (6/7)	0,01
numero di stazioni di rifornimento	1
richiesta rifornimento medio/giorno [mc]	0,60
fueling rate [mc/hr]	20
capacity factor per stazione di rifornimento	2,2%

**Tabella 6 - Prospetto riassuntivo analisi CASO 1**

Come si può notare da questa simulazione, il capacity factor, ovvero il rapporto tra utilizzo e disponibilità della stazione di rifornimento, è molto basso e pertanto si evidenzia come l'infrastruttura abbia capacità per poter rifornire un numero di mezzi molto superiore.

## 6.5 CASO 2 – RICONVERSIONE REACH STACKERS E 2 RIMORCHIATORI

Il secondo caso studiato può essere visto come ampliamento futuro del caso 1 oppure essere pensato come installazione integrata da subito.

L'ipotesi è di avere una riconversione infrastrutturale del porto al bunkering GNL graduale, attraverso un primo step che prevede la modifica di 2 rimorchiatori tradizionali con motori diesel da 2040 kW. I due rimorchiatori dovranno essere modificati con l'inclusione a bordo di un serbatoio GNL da ca. 36 mc che fornisce un'autonomia di funzionamento di ca. 85 hr.

<b>consumo annuo di GNL</b>	3218
consumo medio settimanale	61,8
capacità autobotte di rifornimento	60
utilizzo autobotte di rifornimento	85%
numero autobotti di rifornimento/anno	63,1
numero di rifornimenti a settimana	1,2
no. di truck al giorno (6/7)	0,20
<b>ip. Stoccaggio di 3 settimane</b>	
volume stoccaggio [mc]	180,0
numero di truck per bunkering	1
richiesta bunkering medio/giorno [mc]	8,8
bunkering rate TTS [mc/hr]	60
numero operazioni medie/giorno	0,17
capacity factor per sistema TTS	3,1%

**Tabella 7 - Prospetto riassuntivo analisi CASO 2**

Il quantitativo di GNL annuo non giustifica da solo l'implementazione di una soluzione integrata con OLT. Al fine di minimizzare i costi di investimento di questo primo stadio, si è ipotizzato di mantenere una soluzione di approvvigionamento "da mercato" con il rifornimento di ca. 1 autobotte a settimana. Da notare come questo volume da solo duplicherebbe l'attuale mercato italiano di fornitura GNL su gomma.

Questa ipotesi da sola sarebbe quindi potenzialmente sufficiente per sviluppare un accordo di fornitura dedicato dal terminale GNL di Panigaglia.

L'ipotesi attuale prevede uno stoccaggio con una autonomia di 2,5 settimane (180 mc) dimensionato per coprire i rischi di mancata fornitura dal mercato.

Nella valorizzazione della soluzione si è ipotizzato l'adozione di uno stoccaggio unico orizzontale (D=3,5 e L=18m). Lo stoccaggio e la stazione di rifornimento possono rimanere su un'area di 22 x 15 m.

Nel caso di fornitura dedicata con Panigaglia questo valore potrebbe essere ulteriormente ridotto a fronte di una sostanziale riduzione del rischio di mancato approvvigionamento.

In questa configurazione si prevede la fornitura di un'autobotte dedicata al porto che rifornisca con la metodologia truck to ship i rimorchiatori e l'eventuale impianto di rifornimento reach stacker, se separato dall'area di stoccaggio in banchina.

Questa scelta è dettata semplicemente dalla flessibilità che questa soluzione darebbe negli sviluppi futuri. Se invece si ritiene che questo step 1 non avrà ulteriori sviluppi, si può ipotizzare una soluzione con un ormeggio dedicato ai 2 rimorchiatori, fronte sistema di stoccaggio ed una linea di rifornimento dedicata, risparmiando i costi di acquisto/nolo dell'autobotte.

La valutazione economica del Caso 2 è stata effettuata ipotizzando:

- a) Una stazione di rifornimento (come da caso 1)
- b) stoccaggio per 180 mc
- c) Autocisterna 50 mc dedicata al porto

Il costo totale stimato per il Caso 2 sempre nell'ipotesi di infrastrutture di proprietà è di **2.200.000 €** con esclusione del costo di acquisto delle aree.

## **6.6 CASO 3A – RICONVERSIONE REACH STACKERS, 2 RIMORCHIATORI ED UN TRAGHETTO (GNL VIA STRADA)**

Il caso 3a è lo stadio successivo di sviluppo delle infrastrutture di bunkering nel porto, con l'ipotesi di aggiungere al caso 2 il rifornimento ad un traghetto (tipo megaexpress) dedicato con stoccaggio GNL a bordo di 150 mc. L'ipotesi è che il traghetto compia mediamente 5 rifornimenti a settimana nel porto di Livorno.

Il numero di autobotti per approvvigionare il sistema (ca. 2 al giorno) rendono obbligatorio un accordo con il terminale GNL di Panigaglia per una fornitura continuativa di GNL durante l'anno utilizzando autobotti dedicate al servizio. Ipotesi di approvvigionamenti diversi o misti non sono da ritenersi sostenibili.

In questa ipotesi di approvvigionamento lo stoccaggio è stato minimizzato per garantire una autonomia di sole 1,2 settimane.

Lo stoccaggio da 1000 mc si ottiene con 2 serbatoi orizzontali da 500 mc con dimensioni D=5 m e L=25 m ed una area necessaria in prima ipotesi pari a 30 x 25 m. L'area non ha bisogno di dotazioni particolari oltre ad una pavimentazione adeguata nell'area di carico e scarico, una recinzione industriale dotata di sistema CCTV ed una dotazione anti-incendio da sviluppare nel dettaglio a seconda della distanza delle esigenze dei VVFF locali.

consumo annuo di GNL [mc]	34418
consumo medio settimanale [mc]	661,8
capacità autobotte di rifornimento [mc]	60
utilizzo autobotte di rifornimento	85%
numero autobotti di rifornimento/anno	674,8
numero di rifornimenti a settimana	13,0
no. di truck al giorno (6/7)	2,16
<b>ip. Stoccaggio di 1,5 settimane</b>	
volume stoccaggio [mc]	1000,0
numero di truck per bunkering	1
richiesta bunkering medio/giorno	94,5
bunkering rate TTS [mc/hr]	60
numero operazioni medie/giorno	1,85
capacity factor per sistema TTS	34%

**Tabella 8 - Prospetto riassuntivo analisi CASO 3b**

Il capacity factor della autocisterna dedicata al bunkering dei mezzi navali è al limite superiore di accettabilità per il sistema, il che porterebbe a proporre per fasi critiche di attività l'adozione di un secondo mezzo a supporto (non previsto in questa valutazione).

Altra area critica nel bunkering truck to ship sono i tempi di caricamento.

Nell'ipotesi di una sola autocisterna, i tempi necessari per il rifornimento del traghetto (ca. 2 autocisterne complete) sono quelli riportati in Tabella 9.

Operazione	hr
bunkering a 60 mc/hr	2,0
tempo di preparazione per il bunkering (1 hr x 2 operazioni)	2,0
tempo di rifornimento dell'autobotte a 20 mc/hr	2,6
<b>totale con 1 sola autobotte</b>	<b>6,6</b>
<b>totale con 2 autobotti</b>	<b>4,0</b>

**Tabella 9 - Tempi di rifornimento traghetto con sistema TTS**

E' evidente che i tempi di rifornimento per il traghetto alla base dello studio con la metodologia truck to ship, risultano fortemente limitanti la programmazione delle attività portuali e probabilmente rendendo commercialmente sostenibile tale attività soltanto nel caso di rifornimento in notturna e comunque con l'utilizzo consigliato di 2 mezzi.

La valutazione economica del Caso 3 A è stata effettuata ipotizzando:

- a) Una stazione di rifornimento (come da caso 1)
- b) Autocisterna 50 mc dedicata al porto (come da caso 1 e 2)

c) Stoccaggio dedicato da 1000 mc (2 x 500 mc)

Il costo totale stimato per il Caso 3A, sempre nell'ipotesi di infrastrutture di proprietà, è di **11.000.000 €** con esclusione del costo di acquisto delle aree.

L'ipotesi 3a evidenzia come la metodologia TTS con rifornimento dedicato da strada non è compatibile con uno sviluppo estensivo del sistema bunkering a causa dei colli di bottiglia presenti nell'approvvigionamento a monte, ma soprattutto nelle tempistiche di bunkering in banchina dei mezzi.

Per queste motivazioni a partire da questo caso si è ipotizzato lo sviluppo di una alternativa con sistema Ship to Ship e rifornimento via nave da OLT.

### **6.7 CASO 3B – RICONVERSIONE REACH STACKERS, 2 RIMORCHIATORI ED UN TRAGHETTO (GNL VIA NAVE)**

Con le stesse ipotesi di base del caso 3a è stata analizzata l'implementazione di un sistema Ship to Ship che, oltre a ridurre sensibilmente i tempi di bunkering in banchina, dà l'opportunità di accedere ad una ulteriore fonte di approvvigionamento GNL, il terminale OLT al largo del porto.

Nel presente studio non sono analizzati nel dettaglio la configurazione tecnica del sistema di caricamento lato OLT né il sistema di accosto. Come già descritto nei capitoli precedenti riteniamo che la soluzione non presenti difficoltà tecnologiche che ne mettano a rischio la fattibilità. Chiaramente l'impatto economico di questa soluzione dovrà essere definito congiuntamente con OLT anche per determinare la taglia ottimale della bunkering ship.

Da questa valutazione sono quindi esclusi i costi lato OLT.

Il caso 3b descrive quindi una configurazione in cui il Porto di Livorno si dota di una bunkering ship dedicata, asservita soltanto ai fabbisogni di bunkering portuali. Anche in questa ipotesi come negli altri casi la stima di investimento è stata calcolata con ipotesi di acquisto diretto delle infrastrutture.

Nel caso in cui OLT decidesse di dotarsi di una bunkering ship propria, a copertura dei fabbisogni GNL di un'area più vasta di quella del porto di Livorno, le dotazioni portuali necessarie potrebbero ricondursi a quelle previste per il caso 3a (con l'aggiunta di un sistema di scarico della nave verso i serbatoi) con una fornitura di GNL via barca piuttosto che via gomma.

Anche per il caso 3b, per minimizzare i costi di investimento si è cercato di ottimizzare il volume necessario per le infrastrutture di stoccaggio ma soprattutto di shipping.

Il volume ottimale della nave spola è stato individuato in considerazione del numero di viaggi/annui da effettuare, della durata del tragitto (ca. 2 hr per tratta) delle tempistiche di preparazione al carico (1,5 hr per procedure di accosto, raffreddamento circuito, purging finale) e dell'ottimizzazione del volume trasportato.

Di seguito si riporta una tabella comparativa per diversi volumi di GNL bunkering ship

volume bunkering ship [mc]	numero viaggi/anno	Capacity factor	capacity factor solo in orario apertura porto
150	287	27%	38%
200	215	21%	30%
300	143	15%	22%
400	108	13%	18%
500	86	11%	15%
1000	43	7%	10%
3000	14	5%	7%

**Tabella 10 - Volumi GNL bunkering ship**

Il volume che ottimizza il trasporto da OLT al porto, nell'ipotesi attuale di avere una sola utenza con un volume di bunkering definito (150 mc), ed in assenza di altre utenze continue nel porto, è pari a quello necessario per la singola operazione di Ship to Ship bunkering al traghetto (o di un suo multiplo).

Una progettazione robusta del sistema sulla base dell'analisi di impegno del mezzo suggerirebbe l'adozione di un volume di 300 mc. In questo caso infatti il capacity factor, anche considerando operazioni soltanto nell'orario di apertura del porto, si attesta al 22% medio annuo, garantendo l'adeguata flessibilità operativa del sistema. Questo volume garantirebbe inoltre la capienza per un ulteriore incremento nell'utilizzo portuale di GNL.

consumo annuo di GNL [mc]	34418
consumo medio settimanale [mc]	662
capacità GNL bunker barge (minima)	300,0
utilizzo barge	80%
bunkering rate [mc/hr]	200,0
loading rate [mc/hr]	200,0
% TTS sul totale	9,4%
%STS sul totale	90,6%
numero di viaggi verso OLT/anno	143,4
numero di viaggi a settimana	2,8
viaggi giorno (7/7)	0,39
durata roundtrip porto-OLT[hr]	4,0
capacity factor della GNL bunker barge	15,0%
capacity factor del sistema di caricamento OLT	3,9%

**Tabella 11 - Prospetto riassuntivo prestazioni barge da 300 mc**

Per questa valutazione si è però preso in considerazione anche la soluzione minimale con un volume di 150 mc, che in una ipotesi più conservativa di sviluppo del potenziale GNL nel porto e con esigenze di minor affidabilità del sistema, può ancora essere adeguatamente robusta. Questa soluzione a fronte di un sostanziale beneficio in termini di costi di investimento richiede però probabilmente la necessità di effettuare in alcune operazioni in notturna.

Le tabelle 11 e 12 riportano i risultati rispettivamente per il caso bunker ship da 150mc e da 300mc.

consumo annuo di GNL [mc]	34418
consumo medio settimanale [mc]	662
capacità GNL bunker barge (minima)	150,0
utilizzo barge	80%
bunkering rate [mc/hr]	200,0
loading rate [mc/hr]	200,0
% TTS sul totale	9,4%
%STS sul totale	90,6%
numero di viaggi verso OLT/anno	286,8
numero di viaggi a settimana	5,5
viaggi giorno (7/7)	0,78
durata roundtrip porto-OLT[hr]	4,0
capacity factor della GNL bunker barge	24,8%
capacity factor del sistema di caricamento OLT	6,9%

**Tabella 12 - Prospetto riassuntivo prestazioni barge da 150 mc**

In entrambi i casi l'impegno per il sistema di caricamento OLT è accettabile compreso tra il 4 e il 7% del tempo medio annuo.

Rispetto al caso 3A con bunkering con truck in questo caso i tempi di rifornimento del traghetto sono drasticamente ridotti grazie alla capacità di scarico di 200 mc/hr contro i 60 dell'autobotte.

Operazione	hr
bunkering a 200 mc/hr	0,6
tempo di preparazione/disconnessione per il bunkering	1
<b>Totale</b>	<b>1,6</b>

**Tabella 13 - Tempi di rifornimento traghetto con sistema STS**

Questa riduzione permette una gestione più flessibile delle operazioni portuali del traghetto.

In entrambi i casi il volume a terra è stato mantenuto inalterato a 180 mc, rispetto al caso 2 ipotizzando come detto la possibilità di effettuare questa soluzione 3B come ampliamento di una prima fase.

Lo stoccaggio a terra continua così a dare l'autonomia come nel caso 2 per le attività di bunkering Truck to Ship dei reach stackers ed i 2 tugs. In considerazione della vicinanza della fonte GNL non si è ritenuto necessario incrementare questo volume.

Il sistema di stoccaggio a terra necessita, in aggiunta ai casi precedenti, di un sistema di ormeggio in banchina e di scarico del GNL nave-serbatoio.

Questo sistema è composto da una tubazione di scarico con un sistema automatico di rilascio e da un sistema interconnesso meccanicamente di valvole di intercetto che, nel caso di distacco accidentale del braccio durante lo scarico, intercettano immediatamente il flusso di GNL nei due rami del circuito evitando lo sversamento di GNL (*Emergency Release Coupler*). Date le portate in gioco si può dimensionare il braccio per un diametro < 3". Il sistema per poter mantenere costante la pressione in entrambi i serbatoi ha bisogno di un braccio di ritorno del vapore di GNL che invia il gas spiazzato dal caricamento del serbatoio verso la nave, riequilibrando la pressione dello stesso (l'ipotesi è l'utilizzo di un sistema con tubazioni criogeniche flessibili).

Ipotizzando la prossimità del serbatoio alla banchina, si avrà un breve linea di caricamento serbatoi che, considerando la sporadicità delle operazioni di caricamento, sarà raffreddata ciclicamente in prossimità dello scarico e, subito dopo le operazioni di purging con azoto, riportata a temperatura ambiente.

Come detto, il sistema necessiterà anche di un piccolo stoccaggio azoto per le operazioni di spiazzamento del GNL intrappolato nelle linee. La dimensione finale dello stoccaggio è in funzione della lunghezza della linea di caricamento. Nel presente studio si è comunque ipotizzato un sistema di service per l'approvvigionamento azoto senza la necessità di costruire ed operare il serbatoio per queste quantità ridotte.

E' chiaro che il tentativo deve essere quello di minimizzare le distanze tra banchina e serbatoio per ridurre l'impatto su spese di costruzione e gestione.

La valutazione economica del Caso 3B è stata effettuata ipotizzando:

- a) Una stazione di rifornimento (come da caso 1)
- b) Autocisterna 50 mc dedicata al porto (come da caso 1 e 2)
- c) Stoccaggio dedicato da 180 mc (come da caso 2)
- d) GNL shipping da 300 o 150 mc
- e) Sistema di accosto e scarico GNL shipping al serbatoio.

La stima del costo di investimento per una ship bunkering non è di immediata quantificazione a causa della immaturità del mercato e delle forti variabili legate a questo tipo di scelta.

Ad oggi l'unica GNL bunkering ship costruita appartiene ad AGA ed ha le seguenti caratteristiche

- L= 49 m, W = 11,3 m
- Pescaggio= 3,1 m
- Volume stoccaggio: 187 mc GNL (1 serbatoio D= 4,3 m e L = 11,3 m)

L'imbarcazione è stata costruita con un progetto ad-hoc partendo da una vecchia imbarcazione dedicata al traffico ro-pax. Quindi la immediata applicabilità degli stessi parametri ad un caso diverso non è lineare.

Il costo delle modifiche (escluso quindi l'acquisto della nave) è stato nel 2012 di ca. 2,75 M€.

Da letteratura sono disponibili invece stime di prezzo per GNL bunkering vessel studiati e pensati per utenze nel Mare del Nord a partire da stoccaggi di 1000 mc come da tabella seguente:

volume bunkering ship [mc]	stima capex	€/mc
1000	€ 20.296.296,00	€ 20.296
3000	€ 28.222.222,00	€ 9.407
4000	€ 31.619.781,00	€ 7.904
10000	€ 40.888.888,00	€ 4.088
20000	€ 56.740.741,00	€ 2.837

**Tabella 14 - Stima CAPEX GNL bunkering vessel**

Ipotizzando di dover aggiungere a questo il costo dell'imbarcazione (ex-novo o come riadattamento di un mezzo esistente) si può ipotizzare un costo di investimento di 6 M€ per una taglia da 150 mc e di < 9 M€ per un 300 mc.

Questa voce del costo di investimento deve però essere dettagliata con uno studio ad-hoc che verifichi le caratteristiche di navigabilità richieste all'imbarcazione, la disponibilità e le condizioni di mezzi riconvertibili a prezzi contenuti, la disponibilità di bacini locali in grado di effettuare le modifiche o la costruzione ex-novo del mezzo. L'ingegnerizzazione del sistema di GNL a bordo sarà in funzione di queste caratteristiche (self-propelled o trainata, ecc.)

L'ipotesi di questo studio è che, per le caratteristiche prettamente "locali" del trasporto (la distanza tra Porto ed OLT è di 13 miglia), sia sufficiente una barge dove collocare nel modo ottimale i serbatoi. La barge potrebbe essere trainata da un rimorchiatore tradizionale, senza bisogno di particolari accorgimenti per la riconversione del sistema di propulsione dell'imbarcazione stessa.

La scelta definitiva però potrà avvenire soltanto in funzione delle reali condizioni di mercato al momento della decisione. Non essendo questa una industria matura, non è raccomandato vincolarsi a soluzioni preconfezionate da parte di fornitori od armatori (totalmente del nord europa) ma piuttosto studiare una soluzione ritagliata sulle reali disponibilità del mercato locale così come fatto nell'esperienza del porto di Stoccolma.

Il costo totale stimato per il Caso 3b sempre nell'ipotesi di infrastrutture di proprietà è di:

- **11.250.000 €** nel caso di GNL barge da 150 mc
- **14.850.000 €** nel caso di GNL barge da 300 mc

## 6.8 CASO 4 – RICONVERSIONE LONG-TERM CON GNL VIA NAVE

L'ultimo caso analizzato è l'estensione del caso 3b ad una simulazione futura con una aggiunta di una quota del traffico container internazionale che ha la possibilità di rifornirsi con GNL "spot" dal porto di Livorno, con metodologia Ship to Ship.

consumo annuo di GNL [mc]	226000
utilizzo autobotte di rifornimento	85%
capacità GNL bunker barge (minima)	300,0
utilizzo barge	80%
numero di barge	3
capacità totale barge	900
bunkering rate [mc/hr]	200,0
loading rate [mc/hr]	200,0
% TTS sul totale	5,7%
%STS sul totale	94,3%
numero di viaggi verso OLT/anno	943,0
numero di viaggi a settimana	18,1
viaggi giorno (7/7)	2,6
durata roundtrip porto-OLT[hr]	4,0
capacity factor della GNL bunker barge	30%
capacity factor del sistema di caricamento OLT	29%
volume stoccaggio [mc]	500,0
numero di truck per bunkering	1
richiesta bunkering medio/giorno	35,6
bunkering rate TTS [mc/hr]	60
numero operazioni medie/giorno	0,70
capacity factor per sistema TTS	13%

**Tabella 15 - Prospetto riassuntivo analisi CASO 4**

L'ammontare di GNL è pari a circa 2 metaniere/anno che scaricano nel terminale FRSU che vengono dirottate per gli usi del porto di Livorno. Questo scenario è stato utilizzato per simulare la solidità del sistema anche nell'eventualità di una futura espansione massiccia del porto.

Proprio al fine di simulare l'espansione delle configurazioni ipotizzate, si è cercato di mantenere inalterate le ipotesi di base ovvero: bunkering ship to ship per ferry e mezzi navali spot (94% del totale) e truck to ship per i rimorchiatori e l'intero parco Reach Stackers.

Il volume di stoccaggio a terra è stato aumentato a 500 mc al fine di continuare a mantenere una riserva pari a 1,5 settimane di utilizzo.

Il numero di barge minimo per garantire un capacity factor adeguato è 3x300 mc.

Nel caso in cui questa soluzione fosse stata studiata da subito ex-novo probabilmente la soluzione sarebbe stata ingegnerizzata in maniera differente, ipotizzando una singola GNL ship di capacità superiore. Questo caso vuol essere una simulazione di una espansione massima (probabilmente anche sovradimensionata rispetto alle reali capacità di convertire la flotta internazionale ad GNL) per testare la flessibilità dell'infrastruttura di bunkering pensata.

La valutazione economica del Caso 4 è stata effettuata ipotizzando:

- a) Una stazione di rifornimento (come da caso 1)
- b) Autocisterna 50 mc dedicata al porto (come da caso 1 e 2)
- c) Stoccaggio dedicato da 500 mc (come da caso 2+320 mc )
- d) 3 x 300mc GNL shipping (come da caso 3b + 2 barge)
- e) Sistema di accosto e scarico GNL shipping al serbatoio (come da caso 3b)

Il costo totale stimato per il Caso 3b sempre nell'ipotesi di infrastrutture di proprietà è di **34.000.000 €**.

## 7 CONCLUSIONI

Sono state analizzate diverse soluzioni per dotare il porto di Livorno di una infrastruttura di bunkering GNL. Le soluzioni sono funzionali a delle ipotesi di fabbisogno di GNL pensate per descrivere plausibili scenari futuri di sviluppo di questo mercato.

Nonostante la vicinanza con il rigassificatore della OLT, le sinergie con quest'ultimo, a causa della necessità di dotarsi di una infrastruttura di logistica marittima, è giustificata soltanto per volumi di GNL sostanziali.

Nei casi di soluzioni con fabbisogni di GNL ridotti sono maggiormente convenienti soluzioni di approvvigionamento su gomma.

I vari casi sono stati riportati con la filosofia di poter espandere progressivamente la infrastruttura a seconda dei reali futuri fabbisogni, implementando volta per volta soluzioni minimali per soddisfare le esigenze presenti ma con la flessibilità necessaria di espansione verso i fabbisogni futuri. La strategia ottimale, e con essa il preventivo di dettaglio, potrà essere definita in funzione delle strategia di medio e lungo termine che il Porto deciderà di adottare.

	Mezzi convertiti	Tipologia di approvvigionamento	Stima Investimento
<b>CASO 1</b>	• 3 reach stackers 100% GNL	via terra	600.000 €
<b>CASO 2</b>	• 3 reach stackers 100% GNL • 2 rimorchiatori dedicati	via terra	2.200.000 €
<b>CASO 3A</b>		GNL ITALIA	11.000.000 €
<b>CASO 3B</b>	• 3 reach stackers 100% GNL • 2 rimorchiatori • 1 traghetto dedicato	OLT	11.250.000 € [barge 150 mc]
			14.850.000 € [barge 300 mc]
<b>CASO 4</b>	• 14 reach stackers 100% GNL • 8 rimorchiatori • 5 traghetti dedicato • traffico RoRo internazionale	OLT	34.000.000 €

**Tabella 16 - Prospetto riassuntivo generale**