



**Interreg**



UNION EUROPEENNE  
UNIONE EUROPEA

**SIGNAL**

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

# T3.6.1 Applicativo di pianificazione e gestione della rete distributiva del GNL

---

## **PARTNER:**

- **REGIONE SARDEGNA-Industria**
- **CHAMBRE de COMMERCE et d'INDUSTRIE du VAR**



La cooperazione al cuore del Mediterraneo  
La coopération au cœur de la Méditerranée

# ATTIVITA' T3.6

## Sviluppo di dimostrativi sull'impiego del GNL

Il seguente studio è stato sviluppato nell'ambito del Progetto SIGNAL - Strategie transfrontaliere per la valorizzazione del Gas Naturale Liquido, co-finanziato dal Programma INTERREG Marittimo Italia-Francia 2014-2020.

Informazioni sul documento	
Codice prodotto	T3.6.1
Titolo prodotto	Applicativo di pianificazione e gestione della rete distributiva del GNL
Codice Attività	T3.6
Titolo Attività	Sviluppo di dimostrativi sull'impiego del GNL
Codice Componente	T3
Titolo Componente	Piano della rete distributiva e di trasporto del GNL nel territorio
Soggetto responsabile dell'Attività	Assessorato dell'Industria Regione Sardegna - CIREM Univ. Di Cagliari -
Responsabile scientifico di UNICA-CIREM per conto dell'Assessorato dell'Industria	Prof. Paolo Fadda
Coordinatore dello studio di UNICA-CIREM per conto dell'Assessorato dell'Industria	Ing. Federico Sollai
Soggetto responsabile della stesura del documento	REF-E SRL
Versione	FINALE
Data	19/11/2020

Versione	Data	Estensore(i)	Descrizione modifiche
FINALE	19/11/2020	REF-E SRL	Revisione dati



Quest'opera è distribuita con Licenza Creative Commons Attribuzione - Condividi allo stesso modo 4.0 Internazionale ([CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/))

## Sommario

Indice delle figure .....	4
Indice delle tabelle.....	4
Abstract .....	5
1.Stima dei consumi attesi di GNL.....	6
2.Configurazione della rete distributiva GNL in territori insulari .....	11
3.Calcolo del coefficiente di rischio .....	14
4.Identificazione dei percorsi a minor rischio .....	19
5.Bibliografia e sitografia.....	21

## Indice delle figure

**Figura 1. Schema logico delle simulazioni di traffico..... 9**

## Indice delle tabelle

Non è stata trovata alcuna voce dell'indice delle figure.

## Abstract

Il presente documento illustra i contenuti tecnico-scientifici approfonditi nell'ambito della consulenza a supporto dell'attività T3.6, finalizzata allo sviluppo di dimostrativi sull'impiego del GNL, con particolare riferimento al metodo da impiegare (piano/strategia) in sistemi insulari e costieri.

Questa attività prevede l'applicazione dei modelli sviluppati nelle precedenti attività alle aree di riferimento del progetto, a supporto della definizione di un applicativo di pianificazione e gestione della rete distributiva GNL, che replichi le modalità già definite nel corso delle attività T3.4 e T3.5. Tale modello dovrà essere customizzato inserendo le caratteristiche territoriali, trasportistiche e di domanda specifiche per ogni area e nello scenario di assetto di rete previsto.

Nell'insieme, la metodologia, già illustrata con riferimento operativo al territorio della Regione Sardegna, verrà qui ripresa in termini dimostrativi - anche in forma semplificata - in modo di ricostruire un modello per la pianificazione e gestione della rete distributiva del GNL in diverse realtà territoriali.

La customizzazione del modello è resa più facile dal suo interfacciamento con metodi e basi-dati disponibili a livello europeo (in particolare la matrice O/D merci *TransTools*), che si presta al trasferimento ad altre realtà insulari, tenendo conto delle caratteristiche territoriali, trasportistiche e di domanda specifiche per ogni area, così come degli scenari di assetto di rete previsti.

Gli step metodologici illustrati includono:

- a) la stima dei livelli di consumo attesi del GNL nelle sue diverse componenti di mercato (industriale, civile, autotrazione) (*capitolo 1*);
- b) identificazione di dettaglio della **rete distributiva nel caso della Sardegna**, mediante localizzazione dei **porti di sbarco** e dei **punti-rete di distribuzione**, in modo da definire la matrice d'incidenza delle relazioni O/D interessate dai movimenti delle autocisterne. (*capitolo 2*);
- c) specificazione del **coefficiente di rischio incidentale**, da utilizzarsi come **parametro di costo sociale da minimizzare** in fase di identificazione degli itinerari, ottenuto come prodotto tra la **probabilità di accadimento di ogni singolo evento incidentale**, stimata in relazione alle statistiche della sicurezza stradale sulla rete sarda e della **potenziale gravità dell'evento stesso**, valutata in relazione alla frequentazione ed alla giacitura di ciascun singolo arco di rete (*capitolo 3*);
- d) determinazione degli **itinerari di minimo rischio**, ottenuta mediante assegnazione della matrice d'incidenza secondo un algoritmo di ricerca del minimo costo sociale attribuito alla circolazione delle autocisterne su ciascun singolo arco di rete (*capitolo 4*).

## 1. Stima dei consumi attesi di GNL

La stima dei consumi attesi di GNL, oltre a doversi evidentemente basare su una attenta analisi delle tendenze storiche, deriva necessariamente dall'applicazione di metodologie previsionali differenti, a seconda dei singoli mercati di riferimento.

### COMPONENTE INDUSTRIALE

La stima dei consumi attesi al 2030 di GNL veicolato tramite il downstream su gomma per il settore industriale in Sardegna utilizzata in questo report è basata sulle elaborazioni del capitolo 3 sui potenziali di penetrazione del metano in Sardegna del Rapporto T3.3.1 "La richiesta di GNL in Sardegna e rete distributiva stradale"

In particolare per le elaborazioni del presente report si utilizzano i dati dello scenario "base" sia per quanto riguarda le previsioni di consumi regionali complessivi di energia del settore industriale, che per quanto riguarda il grado di penetrazione del gas naturale in questo settore.

Nel settore industria lo scenario "base" adottato prevede una riduzione dei consumi di energia dell'1.8% in 10 anni, con una sostanziale stabilità (+0.2%) nel primo quinquennio e una riduzione del 2% nel secondo. Tale scenario prevede che gli incrementi dell'efficienza energetica negli usi energetici dell'industria anche politiche correnti siano sostanzialmente controbilanciati dagli aumenti di livello di attività attesi in termini di valore aggiunto dell'industria nel primo quinquennio.

In Sardegna, in base ai trend nazionali su base mensile dei consumi industriali, come effetto della crisi economica in corso, è attesa una riduzione dei consumi del settore a fine 2020 del 10% rispetto al 2019; che verrà riassorbita già dal 2021.

Nel 2030 i consumi finali del settore industria in Sardegna sarebbero di circa 399 ktep nello scenario "base" (con una sostanziale stabilità rispetto al valore pre-crisi di 407 ktep).

Tale scenario non contempla gli effetti della possibile riattivazione degli insediamenti della filiera della lavorazione dell'alluminio in Sardegna.

Per il settore dell'**industria**, concentrandosi sui soli consumi non elettrici, è stata valutata la "aggredibilità" delle fonti energetiche che attualmente costituiscono la *mix* del settore a opera del gas naturale. L'analisi si basa sulla valutazione dei dati disponibili di consumo e delle caratteristiche dei processi produttivi che caratterizzano i comparti dell'industria più rilevanti in Sardegna, in primis quello chimico e petrolchimico.

Per i consumi termici di energia del settore industria si stima, al 2030, un livello complessivo di penetrazione del gas naturale di circa 107 ktep o 118 Mmc, nello scenario "Base".

Nel caso della penetrazione del gas naturale nei consumi dell'industria è ipotizzabile che il canale prevalente di diffusione sarà costituito dalla rete di trasporto e dalle reti di distribuzione ma che una quota significativa avverrà tramite il *downstream* del GNL per industrie che rimarranno *off-grid*. Si ipotizza che tale quota sarà del 30% nel caso dello scenario adottato, in considerazione anche al minore sviluppo delle reti di trasporto prevedibile in questo scenario.

### COMPONENTE CIVILE

La stima dei consumi attesi al 2030 di GNL veicolato tramite il downstream su gomma per il settore civile (residenziale e terziario) in Sardegna utilizzata in questo report è basata sulle elaborazioni del capitolo 3 sui potenziali di penetrazione del metano in Sardegna del Rapporto T3.3.1 “La richiesta di GNL in Sardegna e rete distributiva stradale”

In particolare per le elaborazioni del presente report si utilizzano i dati dello scenario “base” sia per quanto riguarda le previsioni di consumi regionali complessivi di energia dei settori residenziale e terziario, che per quanto riguarda il grado di penetrazione del gas naturale.

Con riferimento al **settore residenziale** lo scenario “base” adottato prevede una riduzione dei consumi di energia del 4.6% in 10 anni, con una riduzione del 3.5% nel primo quinquennio e una decelerazione di tale *trend* nel secondo (-1.2%). Tale scenario prevede significativi incrementi dell'efficienza energetica degli edifici abitativi anche a politiche correnti e la prosecuzione del processo di disaccoppiamento tra l'andamento dei processi socio demografici che prevedono un aumento delle famiglie e delle abitazioni occupate da residenti anche in Sardegna. Anche in Sardegna in base ai *trend* su base mensile dei consumi nel residenziale non sono attesi effetti significativi della crisi pandemica a fine 2020 sul livello dei consumi nel residenziale rispetto a quelli del 2019.

Nel 2030 i consumi del settore residenziale in Sardegna sarebbero di circa 636 ktep nello scenario “base”, rispetto al livello del 2020 pari a circa 667 ktep.

Con riferimento al **settore terziario** lo scenario “base” adottato prevede una sostanziale stabilità dei consumi di energia nel decennio. Tale scenario prevede che i rilevanti incrementi dell'efficienza energetica negli usi energetici del terziario anche a politiche correnti siano controbilanciati dagli aumenti di livello di attività attesi in termini di valore aggiunto del settore.

In Sardegna, anche per l'elevatissimo tasso di penetrazione elettrica che caratterizza i consumi del terziario nella regione, in base ai *trend* su base mensile dei consumi elettrici, come effetto della crisi economica in corso, è attesa una riduzione dei consumi del settore a fine 2020 del 6% rispetto al 2019; che verrà riassorbita già dal 2021.

Nel 2030 i consumi del settore terziario in Sardegna sarebbero di circa 220 ktep nello scenario “base” (con una stabilità rispetto al valore precrisi di 220 ktep).

Per il settore residenziale si può stimare al 2030, un livello di penetrazione del gas naturale di circa 40 ktep o 44 Mmc, nello scenario “Base”.

Nel **terziario** le fonti valutate come aggredibili ad opera del gas naturale sono il gasolio e il GPL, i cui consumi sono sostituiti in larga parte da consumi di gas entro il 2030. Si tratta, tuttavia, di una quota assolutamente minoritaria dei consumi, che totalizzerà circa 16 ktep al 2030 (dato in linea con quello del 2019). Per l'energia elettrica, che al 2019 rappresenta più del 90% dei consumi, si ipotizza l'assorbimento di tutta la nuova domanda nello scenario “Base”. Per il settore terziario, i livelli di consumo e di potenziale penetrazione del gas, in termini assoluti, sono molto più bassi rispetto al residenziale: nello scenario Base si prevedono poco più di 10 ktep o 11.5 Mmc di consumo gas al 2030.

Per i settori del residenziale e del terziario si formula una ipotesi che prevede che il canale prevalente di diffusione sarà costituito dalle reti distribuzione alimentate dalla rete di trasporto, ma che una quota significativa avverrà tramite il *downstream* del GNL per le reti di distribuzione isolate che



saranno alimentate da depositi satellite di GNL. Anche in questo caso si ipotizza che la quota che passerà attraverso il *downstream* del GNL sarà del 30% nel caso dello scenario “base” in connessione al grado di sviluppo delle reti trasporto prevedibile in questo scenario.

## COMPONENTE AUTOTRASPORTO

Per quanto riguarda infine la componente autotrasporto, il potenziale di consumo di GNL può essere stimato attraverso uno specifico **modello di simulazione del traffico** e dei **consumi di carburante**, che consenta, nell’ordine, di:

- ricostruire la **configurazione dei flussi veicolari leggeri/pesanti** sulla rete stradale;
- stimare, sulla base di una opportuna analisi della composizione del parco veicolare circolante, i **consumi energetici** associati a tali flussi;
- identificare, all’interno delle dinamiche di ricambio del parco circolante di veicoli pesanti, le componenti potenzialmente interessate al cambio di alimentazione, in modo da stimare i **consumi potenziali di GNL**.

In generale, i modelli di simulazione del traffico consentono di riprodurre, in modo approssimato, il funzionamento di un sistema di trasporto basandosi fondamentalmente su due tipi di *input*.

Un modello di traffico è uno strumento matematico che consente di riprodurre, in modo approssimato, il funzionamento di un sistema di trasporto.

- la descrizione della **domanda di mobilità**, rappresentata come matrice origine/destinazione (O/D) dei movimenti di persone, merci o veicoli all’interno dell’area;
- la **descrizione dell’offerta di trasporto**, ottenuta riconducendo le caratteristiche dei singoli assi di traffico ad una struttura matematica denominata grafo, formata da nodi e da archi che li congiungono, dotati di opportuni attributi (ad esempio, la lunghezza, il numero di corsie, ecc...).

Il modello combina questi dati assegnando la matrice O/D al grafo, cioè identificando, per ogni spostamento da ciascuna zona di origine a ciascuna zona di destinazione, effettuato per un determinato motivo, il percorso migliore in relazione ai costi percepiti dagli utenti in termini di tempi di viaggio, tariffe e distanze percorse.

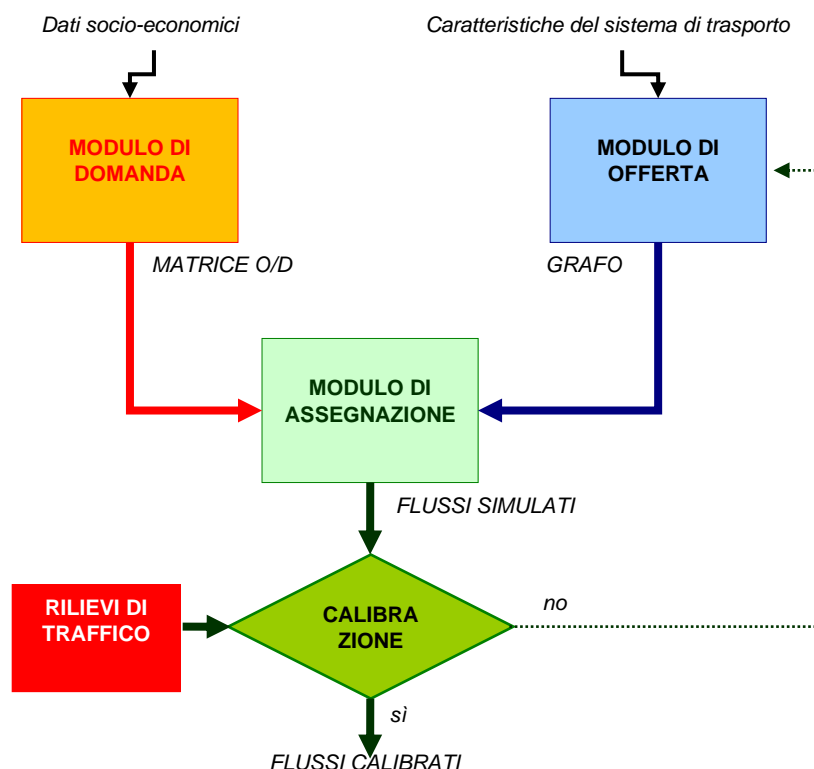
Sommando tutti gli spostamenti assegnati a ciascun percorso, è possibile stimare i flussi di traffico su tutti gli archi del grafo.

Poiché alcuni attributi degli archi - ed in particolare il tempo di percorrenza - dipendono a loro volta dal numero di spostamenti assegnati agli archi stessi, questa procedura deve essere ripetuta più volte, in modo da ottenere un equilibrio tra i costi di trasporto calcolati e la scelta dei percorsi da parte degli utenti del sistema.

Per poter risultare attendibile, ogni modello di traffico deve dimostrarsi capace di riprodurre, con ragionevole approssimazione, una situazione di traffico reale. Pertanto, i flussi simulati dal modello debbono essere confrontati con quelli rilevati nella realtà, tipicamente attraverso conteggi di traffico, manuali od automatici, effettuati in modo indipendente dalla costruzione del modello. Il confronto tra

flussi simulati e flussi rilevati prende il nome di calibrazione del modello, e può dar luogo ad aggiustamenti mirati degli *input*.

Una volta calibrato, il modello è in grado di simulare scenari previsionali, indicativi delle condizioni di circolazione attese a seguito di variazioni della domanda di mobilità (ad es. crescita demografica, nuovi insediamenti urbani ...), o dell'offerta di trasporto (ad es. nuovi collegamenti stradali, istituzione di aree a traffico limitato...).



Fonte: Elaborazione META

Figura 1. Schema logico delle simulazioni di traffico

Rispetto alle indagini svolte su un insieme forzatamente limitato di postazioni, il modello consente di stimare i volumi di traffico e le corrispondenti condizioni di deflusso su tutti gli archi del grafo. Ciò permette di valutare una serie di indicatori importanti, quali ad esempio il totale delle distanze percorse dai veicoli all'interno del territorio comunale, ed i corrispondenti tempi di viaggio.

Applicando a tali indicatori i parametri di consumo unitari dei veicoli circolanti nell'area, è infine possibile stimare la quantità di carburante consumata dal traffico veicolare all'interno dell'area di studio.

Questi indicatori rappresentano il punto di riferimento fondamentale per la valutazione dei consumi complessivi giornalieri, mensili ed annuali.

Facendo riferimento specificamente alle **matrici O/D dei movimenti veicolari di mezzi pesanti** (commerciali), essa può essere desunta in particolare dalla matrice europea TransTools,

opportunamente disaggregata ed adeguata alle condizioni locali, così come derivanti dalla distribuzione territoriale dei singoli punti di produzione, stoccaggio e consumo dei beni trasportati.

Una volta ricostruiti (e validati) i flussi di traffico sulla rete, la **stima dei consumi energetici** più essere sviluppata secondo la metodologia COPERT/CORINAIR (Linee-guida EEA 2016, aggiornamento 2018), facendo riferimento all'approccio di maggior dettaglio (Tier 3)<sup>1</sup>.

Tale metodologia richiede, in primo luogo, la determinazione dei coefficienti unitari di consumo, che possono essere ottenuti rapportando i valori della banca-dati europea con la composizione del parco veicolare circolante, riportata dai dati statistici relativi al parco veicolare circolante (in Italia, fonte ACI). Su questa base è possibile il calcolo di **coefficienti di emissioni medi**, operazione che viene effettuata incrociando la ripartizione del parco veicolare dei veicoli leggeri (autovetture e commerciali <3,5 t) e pesanti per classe di omologazione, con le emissioni medie associate in funzione della velocità ad ognuna di queste, disponibili nella banca-dati europea COPERT-CORINAIR.

Le curve risultanti evidenziano i consumi unitari di carburante, in funzione delle condizioni di avanzamento del mezzo, ed in particolare della sua velocità. La conoscenza congiunta dei flussi e delle velocità sulla rete consente di ottenere una stima dei consumi energetici per ciascuna categoria di veicolo e ciascuna tratta elementare della rete.

Da ultimo, la stima del potenziale di penetrazione del GNL è direttamente derivata da ipotesi relative ai livelli di turnover del parco circolante, appositamente ponderati in rapporto alle percorrenze medie annue delle singole categorie di veicoli (furgoni, autocarri, autotreni ed autoarticolati), in modo da tener conto della maggiore o minore velocità di adozione del nuovo carburante nelle diverse componenti di domanda merci.

---

<sup>1</sup> Il gruppo di lavoro CORINAIR (COoRdination INformation AIR) attivato dalla Commissione delle Comunità Europee elabora ed aggiorna periodicamente i fattori unitari relativi al consumo di carburante, ed alle emissioni inquinanti (CO, NOx, COV, SO2, CO2), relativi a diverse categorie e sottocategorie di autoveicolo. In particolare, sono attualmente disponibili i fattori unitari relativi alle autovetture a benzina (a loro volta articolate per tre classi di cilindrata e per regolamento ECE vigente all'anno di immatricolazione); alle autovetture diesel (suddivise in due classi di cilindrata) ed autovetture a GPL; ai veicoli commerciali leggeri (a benzina e diesel); ai veicoli diesel commerciali pesanti (suddivisi in tre classi di peso); agli autobus ed ai motocicli (tre classi di cilindrata). Per quanto riguarda in particolare le autovetture a benzina e diesel, i fattori sono espressi mediante relazioni continue in funzione della velocità media di marcia (per velocità comprese fra 10 e 130 km/h), mentre i fattori relativi alle altre categorie di autoveicolo sono espressi con riferimento a tre condizioni di marcia tipo (urbana, extraurbana, autostradale). I coefficienti sono riportati nel rapporto: Commission of the European Communities (AA.VV.), CORINAIR Working Group on Emission Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic, Bruxelles, 1991; e dai suoi successivi aggiornamenti: Ntziachristos L., Samaras Z.; COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors (version 2.1); technical report n.49, European Environmental Agency, Copenhagen, november 2000. Gkatzoflias D., Kouridis C., Ntziachristos L., Samaras Z.; COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport; user manual, European Environmental Agency, Copenhagen, december 2007., EMEP/EEA air pollutant emissions inventory guidebook, Part B sectoral guidance chapters, §1.A.3.b

## 2. Configurazione della rete distributiva GNL in territori insulari

Una volta stimato il potenziale di consumo del GNL, per poter studiare la configurazione della rete distributiva è necessario che esso venga articolato, in primo luogo, per **località di consumo**, e che quindi si valutino le possibili alternative logistiche in ordine al suo approvvigionamento. In contesti insulari, ciò rimanda inevitabilmente all'identificazione dei **porti di sbarco** del carburante, trasportato con navi metaniere.

Come nel caso della stima del potenziale di consumo, la ricostruzione della rete distributiva avviene in modo differente per ciascun segmento di mercato.

Lo scenario "base" di penetrazione del gas naturale in Sardegna utilizzato in questo report è quello elaborato nel capitolo 3 sui potenziali di penetrazione del metano in Sardegna del Rapporto T3.3.1 "La richiesta di GNL in Sardegna e rete distributiva stradale". Secondo tale scenario nel 2030 la richiesta di approvvigionamento presso i depositi costieri sarà di 197.000 t/a di GNL (248 ktep) di cui è prevedibile che circa il 42% pari a circa 82.000 t/a (104 ktep) verranno veicolate tramite il *downstream* del GNL, e che circa il 58% pari a 160 Msmc di gas naturale (144 ktep) verranno veicolati, dopo la rigassificazione, tramite la rete di trasporto e quelle di distribuzione. Nei dati complessivi dello scenario "base" la quantità veicolata tramite il downstream del GNL comprende una quota distribuita tramite la rete stradale con l'utilizzo di autocisterne criogeniche e una quota distribuita via mare tramite bunkerine con serbatoi criogenici per il GNL destinato al bunkeraggio *ship to ship*. Nello scenario utilizzato per le elaborazioni di questo report si ipotizza che circa 63 kt/a di GNL vengono veicolate alle utenze finali tramite autocisterne criogeniche, circa 18 siano veicolate tramite bunkerine per il rifornimento di navi alimentate a GNL.

### COMPONENTE INDUSTRIALE

Ai fini delle elaborazioni previste dal presente report lo scenario delle utenze industriali *off-grid* dotate di deposito satellite di GNL rifornito da autocisterne criogeniche ipotizza che la richiesta complessiva per il settore industriale dello scenario "base" al 2030 pari a circa 20 kt/a di GNL ripartite tra 20 utenze, con un consumo medio annuo per utenza di circa 1.000 t/a di GNL.

Lo scenario di localizzazione dei consumi complessivi previsti dallo scenario base è stato costruito utilizzando i dati sui consumi industriali forniti dalla Regione Sardegna selezionando quelli riferibili ai settori di attività per i quali in base alle informazioni disponibili è prevedibile lo *switching* entro il 2030 dall'uso di prodotti petroliferi a quello del gas naturale tramite il *downstream* del GNL. L'uso dei dati forniti dalla Regione Sardegna ha consentito quindi costruire uno scenario realistico circa gli specifici settori di attività industriale, la localizzazione e i consumi specifici di ogni utenza considerata.

### COMPONENTE CIVILE

Ai fini delle elaborazioni previste dal presente report lo scenario delle reti di distribuzione isolate alimentate da depositi satellite di GNL riforniti da autocisterne criogeniche ipotizza che la richiesta complessiva per il settore civile dello scenario "base" al 2030 pari a circa 12 kt/a di GNL ripartite tra 43 reti isolate, con un consumo medio annuo per i relativi depositi satellite di circa 280 t/a di GNL.

Lo scenario di localizzazione dei consumi complessivi previsti dallo scenario base per il settore civile nel 2030 è stato costruito utilizzando le informazioni rese disponibili pubblicamente dalla principale società concessionaria delle reti di distribuzione in Sardegna circa i comuni nei quali è prevista l'attivazione del servizio di distribuzione del gas naturale. I consumi attesi delle reti isolate sono stati differenziati in due classi di richiesta basate sulla consistenza demografico/abitativa dei centri in cui è attesa l'attivazione del servizio di distribuzione del gas naturale.

L'uso delle informazioni disponibili ha consentito quindi costruire uno scenario realistico circa, la localizzazione e i consumi specifici delle reti isolate a GNL considerate.

## COMPONENTE AUTOTRASPORTO

Nel caso della componente autotrasporto, la definizione dei punti-rete non può che derivare da un'analisi della configurazione dei flussi di traffico commerciale, che nel suo insieme sovrintende alla stima del potenziale di penetrazione dei consumi di GNL all'interno del settore.

L'esperienza condotta nel caso della Sardegna ha evidenziato che l'effettivo potenziale di penetrazione si associa ad un numero relativamente limitato di punti-rete (<10), il che rende facilmente trattabile il problema della loro localizzazione sul piano empirico.

Dal punto di vista metodologico, la procedura di identificazione dei punti-rete di distribuzione del GNL sulla rete stradale può comunque essere affinata utilizzando uno specifico **algoritmo di partizionamento ottimo del grafo** in componenti connesse.

In sintesi, gli algoritmi di partizionamento ottimo sono finalizzati a suddividere un grafo connesso  $\Gamma = (N, A)$ , i cui archi  $a_k \in A$  si caratterizzano per un peso  $w_k = f(a_k)$ , in un insieme di sottografi connessi  $\Gamma_1 = (N_1, A_1)$ ,  $\Gamma_2 = (N_2, A_2)$ , ...,  $\Gamma_m = (N_m, A_m)$  identificati in modo che la funzione:

$$W(\Gamma_{1p}) = \sum_k (w_k) \text{ con } a_k \in A_p$$

assume un valore ottimo.

Tale funzione obiettivo può, a seconda dei casi, mirare all'equipartizione del grafo in componenti connesse di ugual peso complessivo, o in alternativa ricerca la soluzione di minimo costo di accesso complessivo all'insieme dei punti-rete.

Per quanto detto, l'applicazione dei suddetti algoritmi richiede la preventiva definizione dell'esatto obiettivo di ottimizzazione, il che richiede approfondimenti di carattere tecnico-metodologico, che potranno essere sviluppati in fasi successive<sup>2</sup>.

Da ultimo, è opportuno ricordare che, nel caso di realtà insulari di piccola dimensione a limitato potenziale di penetrazione del nuovo carburante, un ruolo non trascurabile può essere giocato dal suo impiego nell'ambito dei servizi di autolinea (presumibilmente extraurbani). In tal caso, peraltro, è possibile immaginare che la distribuzione del GNL avvenga utilizzando cisterne criogeniche

<sup>2</sup> Per ulteriori elementi relativi al tema del partizionamento ottimo dei grafi, cfr. Hendrickson e Leland [1995], Krauthgamer, Naor e Schwartz [2009], Liverani [2005, 2014], Bourse, Lelarge e Vojnović [2014], Makarychev e Makarychev [2014].

collocate direttamente presso depositi e rimesse delle aziende di autotrasporto, il che riconduce il problema a quello dell'identificazione di "normali" utenze civili od industriali.

## PORTI DI SBARCO

Da ultimo, la scelta dei porti di sbarco dipende di norma da un complesso di considerazioni logistiche ed infrastrutturali che possono largamente prescindere dalla metodologia di ottimizzazione della rete distributiva nell'ambito del territorio insulare.

Nondimeno, è opportuno evidenziare che la metodologia sviluppata per lo studio della rete consente di attribuire, ad ogni possibile localizzazione dei punti di sbarco (o meglio, a ogni possibile configurazione dell'insieme dei punti di sbarco) un costo logistico totale che può tener conto sia degli oneri diretti di trasporto, sia del rischio sociale connesso alla movimentazione di una merce pericolosa, quale il GNL.

## IL CASO DELL'ISOLA D'ELBA

Le dimensioni molto limitate del sistema energetico dell'Arcipelago Toscano costituiscono un punto di debolezza per un possibile sviluppo della filiera del GNL in questa realtà. A questo proposito è sufficiente evidenziare che i consumi finali di energia nel loro complesso sono dell'ordine di circa 80-90 ktep. Sono quindi assai limitati o non significativi nella prospettiva dello sviluppo della filiera del GNL i consumi nei settori dell'industria, del civile e del termoelettrico. Allo stato attuale sono assenti iniziative per la realizzazione di infrastrutture di approvvigionamento di GNL nell'Arcipelago. Lo sviluppo della filiera del GNL è assente nella programmazione energetica locale (PAES 2014). Va infine evidenziata l'assenza di iniziative pubbliche delle istituzioni locali per lo sviluppo della filiera del GNL nell'Arcipelago.

La richiesta potenziale delle due reti di distribuzione isolate, oggi alimentate a GPL, potrebbe essere significativa solo nella prospettiva di un approvvigionamento diretto tramite la supply chain del downstream del GNL, ossia tramite autocisterne criogeniche che riforniscano i depositi satelliti a servizio di reti isolate a GNL. Si tratta infatti di reti localizzate come nel caso di Portoferraio presso centri urbani in corrispondenza di infrastrutture portuali e servizi di collegamento marittimo che potrebbero consentire di rifornire eventuali depositi satellite di GNL tramite autocisterne criogeniche senza necessità di utilizzare la rete stradale dell'isola per il trasporto presso altre località.

In un contesto del genere non è sostanzialmente applicabile la metodologia utilizzata in questa sede per il caso della Sardegna. Nel caso di Portoferraio la fornitura di GNL tramite autocisterne criogeniche avverrebbe tramite l'imbarco su i traghetti RO-PAX in servizio sulla rotta da Piombino a Portoferraio senza nessun impatto significativo sulla rete stradale dell'isola d'Elba.

### 3. Calcolo del coefficiente di rischio

Dal punto di vista della sua configurazione spaziale, la rete distributiva GNL in un territorio insulare può essere descritta attraverso:

- un insieme di **località di origine**, corrispondenti in sostanza ai **porti di sbarco**;
- un insieme di **località di destinazione**, corrispondenti ai **punti-rete** di vendita od utilizzo finale del prodotto, da ricondurre in pratica a singoli **impianti industriali**, a **depositi locali** rivolti alle utenze civili/terziarie, ovvero a **stazioni di servizio** finalizzate alla vendita di carburanti per autotrazione.

È opportuno evidenziare che, per loro stessa natura, il numero delle località di origine è destinato a risultare strutturalmente inferiore a quello delle località di destinazione. Ne risulta una matrice di incidenza rettangolare caratterizzata dalla prevalenza del numero di colonne sul numero di righe, a ciascuna delle quali potrà essere fatto corrispondere un problema di tipo SOMD (*Single Origin to Multiple Destination*), mentre l'insieme della matrice stessa rimanderà ad un problema di tipo MOMD (*Multiple Origin to Multiple Destination*) [Liu 2017].

Un ovvio requisito della rete distributiva consiste nella sua sicurezza, ovvero nel contenimento dei rischi (modesti, ma non del tutto trascurabili) associati alla circolazione delle autocisterne, entro limiti di accettabilità sociale.

A tal fine, risulta opportuno condurre un approfondimento mirato sugli **itinerari di minimo rischio** tra i punti di carico e di scarico del prodotto.

Questo approfondimento può essere condotto mediante il modello di simulazione, già impiegato per ricostruire i flussi di traffico sulla rete, associando a ciascun arco stradale un coefficiente di rischio ottenuto come prodotto fra la probabilità che su di esso si verifichi un sinistro stradale che coinvolga un'autocisterna, e l'entità dei danni potenzialmente associati a tale evento.

$$\text{Coefficiente di rischio} = \text{probabilità del sinistro} \times \text{danno potenziale}$$

La costruzione di un coefficiente di questo genere è stata oggetto, in anni recenti, di numerosi approfondimenti collegati alla gestione dei flussi di merci pericolose sulla rete nazionale (Bonvicini, Leonelli e Spadoni 1998; Leonelli, Bonvicini e Spadoni 2000; Orso Giaccone *et al.* 2012; Studer *et al.* 2012; 2018; Borghetti *et al.* 2015; Gandini *et al.* 2015), che sono stati assunti a riferimento del calcolo degli indicatori di rischio.

In particolare, nel seguito dell'analisi si è fatto riferimento al **modello di analisi del rischio DGT (Dangerous Goods Transportation)**, che basa la stima del costo sociale associato ad uno specifico itinerario sull'algoritmo seguente (Studer *et al.* 2012):

$$R_{ij} = \sum_k R_k = \sum_k \left( p_k \times \sum_s \left( p_{k,s} \times \sum_e \left( p_{k,s,e} \times \sum_m \left( F_{k,m} \times E_{k,s,e,m} \times S_m \times (1 - C_{k,s,e,m}) \right) \right) \right) \right)$$

dove:

$R_{ij}$	Rischio cumulato sull'itinerario [€/anno]	
$R_k$	Rischio totale associato al transito sul $k$ -simo arco del grafo [€/anno]	
$p_k$	Probabilità di accadimento di un incidente stradale sull'arco $k$ [veicoli coinvolti/arco/anno]	PROBABILITA' CUMULATA DEGLI EVENTI AVVERSI
$p_{k,s}$	Probabilità che un incidente stradale sull'arco $k$ coinvolga un veicolo adibito al trasporto della sostanza $s$	
$p_{k,s,e}$	Probabilità che un incidente stradale sull'arco $k$ , che coinvolge un veicolo adibito al trasporto della sostanza $s$ , determini un evento avverso di tipo $e$	
$F_{k,m}$	Fattore di presenza del recettore $m$ lungo l'arco $k$	DANNO ASSOCIATO A CIASCUN EVENTO AVVERSO
$E_{k,s,j,m}$	Fattore di esposizione del recettore $m$ lungo l'arco $k$ all'evento avverso $e$ che coinvolge la sostanza $s$	
$S_m$	Suscettibilità del recettore $m$	
$C_{k,s,e,m}$	Resilienza/capacità di recupero del recettore $m$	

Nel caso in esame la sostanza di riferimento è unica (il GNL) e pertanto l'indice  $s$  può essere omesso ottenendo la formulazione:

$$R_{ij} = \sum_k R_k = \sum_i \left( p_k \times \sum_e \left( p_{k,e} \times \sum_m \left( F_{k,m} \times E_{k,e,m} \times S_m \times (1 - C_{k,s,e,m}) \right) \right) \right)$$

Mentre sono mantenuti gli altri indici relativi ai singoli archi del grafo ( $k$ ), alla tipologia di evento avverso ( $e$ ) ed alla presenza, suscettibilità e resilienza del recettore ( $m$ ).

Nell'esperienza condotta con riferimento alla Regione Sardegna (report T3.4 e T3.6), la costruzione del coefficiente di rischio su ciascun arco è stata ottenuta, in prima approssimazione, per mezzo di due serie distinte di dati statistici, riconducibili rispettivamente:



- per quanto riguarda la probabilità cumulata degli eventi avversi, ai livelli di incidentalità riscontrati sulla rete stradale;
- per quanto attiene invece al danno potenzialmente associato a ciascun evento avverso, alla presenza, suscettibilità, e resilienza dei soggetti potenzialmente esposti, identificati negli automobilisti in transito, nelle persone residenti attorno alla strada, nonché negli ambiti sensibili dal punto di vista naturalistico.

## CALCOLO DELLA PROBABILITA' D'INCIDENTE

Il coefficiente di rischio si basa, in primo luogo, sui tassi di incidentalità, calcolati a partire dalla probabilità di accadimento dell'incidente in relazione alla tipologia di strada e all'entità del flusso veicolare in essa transitante.

In sintesi, data per assunta la ricostruzione dei volumi di traffico della rete stradale effettuata utilizzando il modello di traffico secondo la metodologia esposta nei paragrafi precedenti, la procedura per il calcolo del coefficiente di rischio per quanto riguarda la ricostruzione del numero di veicoli coinvolti in incidente all'anno passa attraverso le seguenti fasi:

- a) acquisizione dei dati di incidentalità, resi disponibili in Italia dall'ISTAT;
- b) codifica delle strade sul grafo stradale e confronto tra statistiche degli incidenti e volumi di traffico;
- c) ricostruzione per ogni arco stradale del modello del numero di veicoli coinvolti in incidenti all'anno.

Una volta effettuate queste elaborazioni, la probabilità complessiva di un sinistro, che coinvolga un'autocisterna criogenica, può essere calcolata sulla base dell'occorrenza statistica dei sinistri – preferibilmente valutata su base almeno triennale - ponderando i dati relativi agli eventi che coinvolgono veicoli pesanti con quelli relativi al numero totale dei sinistri.

In particolare, per ciascun arco stradale è possibile considerare:

- il numero totale di incidenti  $N_T$ ;
- il numero totale di incidenti con coinvolgimento di mezzi pesanti  $N_P$ .

determinando gli indici:

- di incidentalità totale:  $i_T = N_T / 100 \text{ Mvkm totali}$
- di incidentalità pesante:  $i_P = N_P / 100 \text{ Mvkm pesanti}$

riferiti a un singolo anno<sup>3</sup>.

Per ovviare al fatto che molte strade sono praticamente prive di traffico pesante (quanto meno simulato dal modello), come indicatore di probabilità del sinistro è possibile utilizzare l'indice di incidentalità medio ponderato:

---

<sup>3</sup> In altri termini, il valore cumulato degli incidenti verificatisi nel quinquennio 2014-2018 è stato rapportato a un volume di traffico pari a cinque volte il valore medio annuo risultante dalle simulazioni effettuate.

$$i = \alpha i_P + (1-\alpha i_T)$$

con  $\alpha$  posto in prima approssimazione pari a 0,1.

Tale indice rappresenta **la probabilità che si verifichi un evento incidentale che interessi un'autocisterna criogenica**, ogni 100 Mvkm di traffico generati dalle autocisterne stesse.

## CALCOLO DELL'INDICATORE DI DANNO POTENZIALE

Oltre a considerare i tassi di incidentalità, cioè la probabilità che si verifichi un evento incidentale, la costruzione del coefficiente di rischio deve tener conto dei possibili danni associati all'evento: per esempio un conto è avere un incidente in una galleria con intenso traffico, diverso averlo in aperta campagna su strade con transiti ridotti; un conto l'incidente in ambito rurale, diverso in ambito urbano densamente abitato.

Per fare ciò, dati per assunti i punti precedenti, la procedura per il calcolo dell'indicatore del danno potenziale tiene conto di tre distinti fattori:

- la presenza di traffico leggero, ovvero la possibilità che un evento incidentale interessi **persone presenti su altri veicoli in transito**
- la **popolazione residente all'intorno dell'asse stradale**, potenzialmente esposta ai rischi del sinistro
- ulteriori elementi relativi alla **vulnerabilità ambientale** del contesto.

La **presenza di persone presenti su altri veicoli in transito** è facilmente desumibile dalle stesse simulazioni di traffico: detta  $t_{inc}$  la durata di un evento incidentale, la probabilità che in tale intervallo di tempo si verifichi il transito di un altro veicolo è data semplicemente da.

$$p_{tr} = (F_A + F_R) \frac{t_{inc}}{T_{oss}}$$

dove  $F_A$  ed  $F_B$  sono i flussi di traffico stimati sull'arco (espressi ad esempio in veicoli/giorno), e  $T_{oss}$  il corrispondente tempo di osservazione (in questo caso, un giorno).

Il numero di persone potenzialmente transitanti sulla strada durante l'evento incidentale può essere così determinato moltiplicando la probabilità di transito per il coefficiente medio di occupazione dei veicoli.

Beninteso, questo modo di procedere consente di determinare la probabilità media giornaliera che nel corso dell'evento incidentale si manifesti il transito di un certo numero di persone. È possibile peraltro ipotizzare, da un lato, che i movimenti di autocisterne si verifichino in ore della giornata caratterizzate dalla minor presenza di traffico e, dall'altro, che efficaci sistemi di allarme consentano di limitare la durata critica dell'evento alle sole fasi precedenti l'avvio di tali sistemi, con conseguente possibilità di blocco della circolazione sull'asse stradale esaminato.

In prima approssimazione, si è assunto un coefficiente di occupazione pari a 1,2 persone/veicolo leggero e 1,0 persone/veicolo pesante, mentre la durata critica dell'evento incidentale è stata posta pari a 30 secondi.

Per quanto riguarda la **popolazione esposta all'intorno dell'asse stradale**, ogni arco del graffo può essere caratterizzato al suo intorno da un *buffer* definito dei residenti e degli addetti che, in caso di incidente, potrebbero essere in parte interessati dagli effetti dello stesso.

Tale *buffer* può essere caratterizzato in base a un indicatore di popolazione esposta facendo riferimento alla presenza di residenti e addetti (dato ISTAT per sezione di censimento) in un *buffer* di 50 metri dall'arco stradale considerato definito a priori come valore di riferimento per una simulazione di massima.

Ciò permette, come definito dall'immagine seguente, di evidenziare gli archi stradali su cui è maggiore la popolazione esposta che, come ovvio, si concentrano soprattutto negli ambiti urbani delle principali città sarde.

Se da un lato la criticità dell'attraversamento dei centri urbani, in particolare per i mezzi che trasportano merci è cosa nota, non solamente per una questione di rischio reale, ma anche di rischio percepito, oltre che di influenza sul traffico locale, l'indicatore mette in luce come anche la rete principale, concentrata prevalentemente su infrastrutture extraurbane, attraversa alcune piccole concentrazioni di popolazione esposta, da considerare nello scenario di movimentazione del GNL.

Da ultimo, la costruzione dell'indicatore di danno potenziale può tener conto anche di un **fattore di vulnerabilità ambientale** considerando territori vulnerabili quelli che quelli attraversati da archi stradali.

Tale indicatore presuppone una mappatura delle aree di valenza ambientali, in cui gli effetti di incidenti con propagazione di liquidi e/o gas potrebbero incidere sulle caratteristiche naturali dell'introno.

Fermo restando la possibilità di disporre di dati di maggior dettaglio, in prima battuta possono essere considerati i siti della rete Natura2000 quale sistema coordinato e coerente (una rete) di aree (siti di importanza comunitaria SIC e zone di protezione speciale ZPS) destinate alla conservazione della diversità biologica presente nel territorio dell'Unione Europea.

L'**indicatore di danno potenziale totale** viene determinato attribuendo ai recettori un valore economico, ottenuto per i morti ed i feriti dall'*Handbook on external cost of transport* della Commissione UE (ed.2019), che per l'Italia fissano i valori seguenti:

- Decesso: 3,2 milioni di €
- Ferita grave: 0,5 milioni di €
- Ferita leggera: 0,04 milioni di €

Per quanto riguarda invece le aree di pregio ambientale, viene assunto un valore medio di riferimento per i siti Rete Natura 2000 di circa 3mila €/ha (ten Brink *et al*, 2011).

## 4. Identificazione dei percorsi a minor rischio

A seguito dell'analisi dell'incidentalità, e quindi della probabilità di incidente, e della stima del danno potenziale, è quindi possibile procedere col calcolo del coefficiente di rischio complessivo, secondo la già vista formulazione:

$$\text{Coefficiente di rischio} = \text{probabilità del sinistro} \times \text{danno potenziale}$$

Tale coefficiente, espresso in unità monetarie per 100 milioni di veicoli-km sulla rete (€/100 Mvkm), costituisce l'espressione sintetica del "costo sociale" associato alla circolazione delle autocisterne criogeniche sulla rete stradale sarda.

L'individuazione degli itinerari stradali a minor rischio sociale viene quindi effettuata mediante un semplice algoritmo di ricerca del costo minimo (Dijkstra), alimentato da:

- un primo insieme di uno o più punti di origine  $i$  (i porti di sbarco del GNL);
- un secondo insieme di punti di destinazione  $j$  (i punti rete);
- una rete stradale valorizzata con i coefficienti di rischio calcolati secondo le modalità descritte nel paragrafo precedente.

L'insieme degli archi assegnati restituirà il quadro degli itinerari di minimo rischio sulla rete stradale sarda, in rapporto alla configurazione proposta per la rete di distribuzione GNL.

I risultati così ottenuti, andranno comunque valutati considerando ulteriori elementi, tra cui i due seguenti:

- la configurazione della rete stradale sarda, tale da non consentire facili alternative ad alcuni assi stradali che, soprattutto per il traffico pesante costituiscono l'unica alternativa facilmente percorribile;
- l'identificazione, all'interno di ciascuna zona di traffico, delle scelte di itinerario di "ultimo miglio" che, di difficile definizione alla scala del presente approfondimento, andranno considerate in funzione delle decisioni prese in merito alla tipologia di distributori.

Oltre all'individuazione del percorso di minimo costo, un secondo importante *output* consiste nel **costo sociale cumulato** ad esso associato, secondo la seguente formulazione:

$$CS_p = N \sum_k CS_{ij}$$

Dove:

- $CS_p$  è il costo sociale associato all'intero percorso, espresso in €/anno;
- $N$  è il numero di autocisterne/anno, calcolato sulla base della domanda annua di GNL di ogni singolo punto rete, ed ipotizzando una capacità di 20t per ogni veicolo;
- $CS_{ij}$  è il costo sociale associato ad ogni singolo arco che compone il percorso;

Grazie a questo indicatore diviene pertanto possibile:

- confrontare diverse località di origine (porti) per individuare quella ottimale a servire una specifica destinazione (punto rete);
- confrontare diversi assetti di rete. Infatti, sommando tutti i costi sociali di tutti i percorsi considerati all'interno di un particolare assetto (Es: utilizzo del porto A o del porto B), si ottiene una stima del suo costo sociale complessivo.

## 5. Bibliografia e sitografia

- Bonvicini S., Leonelli P., Spadoni G., 1998, "Risk analysis of hazardous materials transportation: evaluating uncertainty by means of fuzzy logic", Journal of Hazardous Materials, 62; 59-74.
- Borghetti F., Gandini P., Studer L., Todeschini V., Pastorelli G., 2015, "I SIIG per la mappatura del rischio associato al trasporto di sostanze pericolose: applicazione in aree vulnerabili del contesto lombardo," Convegno ASITA 2015, 167-174, ISBN/ISSN: 978-88-941232-2-7
- Bourse F., Lelarge M., Vojnović M., 2014, "Balanced Graph Edge Partition" Technical Report MSR-TR-2014-20, Microsoft Research, Redmond
- European Commission, *Handbook on external cost of transport – January 2019 – V1.1*
- Frank W.C., Thill J.-C., Batta R., 2000, "Spatial decision support system for hazardous material truck routing", Transportation Research C, 337-359.
- Gandini P., Borghetti F., Studer L., Iuliano R., Pastorelli G., 2015, "Assessment of areas exposed to damage by dangerous goods transportation. Application of Analytic Hierarchy Process method for land covers weighting", IEEE - ITSC 2015 Smart Mobility for Safety and Sustainability, ISBN: 978-1-4673-6595-6.
- Hendrickson B., Leland R., 1995, "A Multilevel Algorithm for Partitioning Graphs"; Proceedings of the 1995 ACM/IEEE conference on Supercomputing
- Krauthgamer R., Naor J., Schwartz R., 2009, "Partitioning Graphs into Balanced Components"; Proceedings of the 2009 Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms
- Leonelli P., Bonvicini S., Spadoni G., 2000, "Hazardous materials transportation: a risk-analysis-based routing methodology", Journal of Hazardous Materials, 71; 283-300.
- Liu L., 2017, "Study on Route Optimization of Methanol Safety Transportation Routing"; Chemical Engineering Transactions, vol.59; pp.1177-1182.
- Liverani M., 2005, "Appunti sui problemi di partizionamento ottimo di grafi in componenti connesse"
- Liverani M., 2014, "Partizionamento ottimo di grafi in componenti connesse"; dispense del corso di ottimizzazione combinatoria, Università di Roma Tre
- Makarychev K., Makarychev Y., 2014, "Nonuniform Graph Partitioning with Unrelated Weights", <https://arxiv.org/abs/1401.0699>
- Orso Giacone M., Bratta F., Gandini P., Studer L., 2012, "Dangerous goods transportation by road: a risk analysis model and a global integrated information system to monitor hazardous materials land transportation in order to protect territory, Chemical Engineering Transactions", vol. 26-2012, Cisap 5th International Conference on Safety & Environment in Process & Power Industry, ISSN: 1974-9791.
- Studer L., Gandini P., Borghetti F., Maja R., Todeschini V., 2012, "Improving knowledge of risk in Dangerous Goods Transport", XIX ITS World Congress, Vienna, Paper EU-00685.
- Studer L., Gandini P., Iuliano R., Borghetti F., Marchionni G., 2018, "Road users exposed to Harm from Transportation of dangerous goods – definition and estimation", Chemical Engineering Transactions, 67, 757-762 DOI: 10.3303/CET1867127
- Ten Brink P., Badura T., Bassi S., Daly, E., Dickie, I., Ding H., Gantioler S., Gerdes, H., Kettunen M., Lago, M., Lang, S., Markandya A., Nunes P.A.L.D., Pieterse, M., Rayment M., Tinch R., (2011). Estimating

the Overall Economic Value of the Benefits provided by the Natura 2000 Network. Final Report to the European Commission, DG Environment on Contract ENV.B.2/SER/2008/0038. Institute for European Environmental Policy / GHK / Ecologic, Brussels 2011

Wang H., Xiao G., Wei Z., 2013, "Optimizing Route for Hazardous Materials Logistics Based on Hybrid Ant Colony Algorithm", Discrete Dynamics in Nature and Society, ID752830

# CCI VAR

## RETE DI DISTRIBUZIONE DEL GNL NELLA RADA DI TOLONE

02	IFI	07/12/2020	Pubblicazione per divulgazione	XRO	PYC	AME
01	IFI	25/11/2020	Pubblicazione per divulgazione	XRO	PYC	AME
00	IFI	20/10/2020	Pubblicazione per osservazioni	XRO	PYC	AME
<b>Rev</b>	<b>Stato</b>	<b>Data</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Preparato</b>	<b>Controllato</b>	<b>Approvato</b>



## Elenco delle revisioni

Rev	Stato	Data	Descrizione	Preparato	Controllato	Approvato
00	IFI	20/10/2020	Pubblicazione per osservazioni	XRO	PYC	AME
01	IFI	25/11/2020	Pubblicazione per divulgazione	XRO	PYC	AME
02	IFI	07/12/2020	Pubblicazione per divulgazione	XRO	PYC	AME

## Descrizione della revisione 02

Correzione §4.1.4

## Elenco dei presenti

N.	Sezione	Descrizione
1		Eliminato

## ELENCO DELLE FIGURE

Figura 3-1: Mappa delle infrastrutture GNL (2018) estratta dalla mappa di Gas Infrastructure Europe	10
Figura 3-2: Riepilogo delle possibili catene di bunkeraggio	11
Figura 4-1: Distribuzione geografica dei bunkeraggi nel 2019	14
Figura 4-2: Schema delle norme europee per un'infrastruttura GNL	15
Figura 5-1: Architettura della catena di approvvigionamento del GNL via terra	18
Figura 5-2: Autobotte e rimorchio per GNL	18
Figura 5-3: Camion e container ISO per GNL	19
Figura 5-4: Itinerario stradale da Fos Cavaou/Fos Tonkin alla rada di Tolone	20
Figura 5-5: Itinerario stradale nella rada di Tolone	20
Figura 5-6: Architettura della catena di approvvigionamento del GNL via mare	21
Figura 5-7: Esempi di nave bunker offshore	22
Figura 5-8: Itinerario via mare dal Golfo di Fos/Panigaglia alla rada di Tolone	22
Figura 5-9: Architettura della catena di approvvigionamento del GNL via ferrovia	23
Figura 5-10: Esempio di trasporto di GNL su ferrovia: carro cisterna per GNL o container ISO	23
Figura 5-11: Collegamento ferroviario da Fos Cavaou/Fos Tonkin alla rada di Tolone	24
Figura 5-12: Architettura della catena di approvvigionamento del GNL via gasdotto	25
Figura 5-13: Rete di distribuzione del gas	25
Figura 5-14: Unità di liquefazione	26
Figura 5-15: Stoccaggio intermedio a terra di piccola taglia	27
Figura 5-16: Impianto di bunkeraggio con serbatoio di stoccaggio fisso (porto di Hirtshals, in Danimarca, per Fjord Line)	28
Figura 5-17: Serbatoi di tipo B: prismatico, sferico e a membrana	29
Figura 5-18: Stoccaggio galleggiante di piccola taglia, esempio di progetto preliminare di una bettolina bunker	29
Figura 5-19: Foto della nave bunker ENGIE Zeebrugge	30
Figura 5-20: Unità galleggiante ancorata - FSU	31
Figura 6-1: Schema del trasporto su gomma nella rada	33
Figura 6-2: Bunkeraggio a mezzo autobotte nel 2019	34
Figura 6-3: Rifornimento a GNL di una nave di linea, maggio 2016	35
Figura 6-4: Evoluzione dei sistemi di bunkeraggio in modalità TTS	35
Figura 6-5: Panoramica della consegna di GNL a bordo del traghetto Honfleur	36
Figura 6-6: Schema del trasporto via mare nella rada	38
Figura 6-7: Bunkeraggio a mezzo nave nel 2019	39
Figura 6-8: Bettolina di trasferimento dotata di serbatoio di tipo C	40
Figura 6-9: Bettolina London LNG	40

Figura 7-1: Previsioni sull'uso del GNL come combustibile nel settore marittimo	42
Figura 7-2: Numero totale e tipo di navi alimentate a GNL	43
Figura 7-3: Evoluzione annuale della domanda di GNL in 10 anni	44
Figura 7-4: Esempio di bettolina per la fornitura di energia elettrica alle navi attraccate	45

## ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 3-1: Capacità e tasso di utilizzo dei terminali nella regione PACA (fonti [1])	11
Tabella 4-1: Indicazione del volume di bunkeraggio GNL tipico per categoria di nave (fonte [1])	12
Tabella 4-2: Distribuzione dei bunkeraggi in tonnellate nel 2019	13
Tabella 5-1: Dati tecnici delle principali navi bunker	21
Tabella 5-2: Dimensioni tipiche dei serbatoi sferici a pressione	27
Tabella 7-1: Quota di GNL nel consumo globale di combustibili marini	43
Tabella 10-1: Quantità rifornite dalle petroliere provenienti da FOS	52
Tabella 10-2: Quantità rifornite tramite autobotti per le navi da ricerca IFREMER	53

# INDICE

<b>ELENCO DELLE FIGURE</b> .....	<b>3</b>
<b>ELENCO DELLE TABELLE</b> .....	<b>5</b>
<b>INDICE</b> .....	<b>6</b>
<b>1 INTRODUZIONE</b> .....	<b>8</b>
<b>2 ABBREVIAZIONI</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Preambolo</b> .....	<b>10</b>
3.1 L'infrastruttura GNL e i terminali metaniferi .....	10
3.2 La filiera del GNL .....	11
<b>4 DATI DI PARTENZA</b> .....	<b>12</b>
4.1 Il bunkeraggio oggi nella rada di TOLONE .....	12
4.1.1 Informazioni generali .....	12
4.1.2 Il bunkeraggio di combustibili marini .....	13
4.1.3 Mappa dei bunkeraggi .....	14
4.1.4 Il bunkeraggio di GNL .....	14
4.2 Dati amministrativi e normativi .....	15
4.2.1 Quadro normativo europeo per le infrastrutture .....	15
4.2.2 Studio dei rischi .....	15
4.2.3 Normativa portuale .....	16
4.3 Volumi di GNL .....	17
<b>5 IL PERCORSO DEL GNL VERSO LA RADA DI TOLONE</b> .....	<b>18</b>
5.1 Via terra .....	18
5.1.1 Mezzi .....	18
5.1.2 Strade e itinerario .....	19
5.2 Via mare .....	21
5.2.1 Metaniere e navi bunker .....	21
5.2.2 Itinerari marittimi .....	22
5.3 Via ferrovia .....	23
5.3.1 Mezzi .....	23
5.3.2 Itinerari e collegamenti .....	24
5.4 Via gasdotto .....	25
5.5 Tramite stoccaggio intermedio .....	26
5.5.1 Impianti di piccola taglia con capacità fino a 5.000 m <sup>3</sup> .....	27
5.5.2 Impianti di grande taglia con capacità superiori a 15.000 m <sup>3</sup> .....	31
5.6 Analisi .....	32
<b>6 TRASPORTI NELLA RADA</b> .....	<b>33</b>
6.1 Su gomma .....	33

---

6.1.1	Architettura.....	33
6.1.2	Volume e mappa dei bunkeraggi.....	34
6.1.3	Infrastrutture e approvvigionamento .....	35
6.1.4	Limitazioni .....	36
6.1.5	Sviluppi logistici possibili.....	37
6.1.6	Analisi critica.....	37
6.2	Via mare .....	38
6.2.1	Architettura.....	38
6.2.2	Volume e mappa dei bunkeraggi.....	39
6.2.3	Infrastrutture e approvvigionamento .....	39
6.2.4	Limitazioni .....	40
6.2.5	Sviluppi logistici possibili.....	41
6.2.6	Analisi critica.....	41
<b>7</b>	<b>SVILUPPO DELL'APPROVVIGIONAMENTO DI GNL .....</b>	<b>42</b>
7.1	Evoluzione del mercato globale.....	42
7.2	Evoluzione del GNL nella rada di TOLONE.....	44
7.2.1	Mercato interno .....	44
7.2.2	Mercato esterno .....	45
<b>8</b>	<b>RACCOMANDAZIONI .....</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>STUDI E RIFERIMENTI NORMATIVI CITATI.....</b>	<b>48</b>
<b>10</b>	<b>ALLEGATO - Dati relativi al bunkeraggio nella rada di TOLONE.....</b>	<b>51</b>

# 1 INTRODUZIONE

Il programma Interreg Marittimo è un programma transfrontaliero italo-francese cofinanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR) nell'ambito della cooperazione territoriale europea (CTE).

Il programma mira a rafforzare la cooperazione transfrontaliera e promuovere una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva nell'area del Mediterraneo.

In questo programma, il progetto SIGNAL (Strategie transfrontaliere per la valorizzazione del gas naturale liquefatto) mira a:

- a) ottimizzare la rete marittima;
- b) individuare siti di stoccaggio e distribuzione del gas naturale liquefatto (GNL) nei porti;
- c) adottare strategie transfrontaliere per l'uso e la valorizzazione del GNL nei porti.

In quest'ottica, la CCI VAR ha condotto il presente studio tecnico per fare una panoramica e delle proiezioni sulla rete di distribuzione del GNL nella rada di Tolone.

## 2 ABBREVIAZIONI

EMSA	European Maritime Safety Agency
DML	Gasolio marino leggero per motori diesel
ERP	Strutture aperte al pubblico
FSU	Floating and Storage Unit, unità galleggiante di stoccaggio
GNL	Gas naturale liquefatto
NGV	Veicolo a gas naturale (termine generico per indicare i veicoli che utilizzano il gas naturale allo stato gassoso o liquido)
HFO	Heavy Fuel Oil, olio combustibile pesante
IAPH	International Association of Port and Harbour
ICPE	Impianti classificati per la protezione dell'ambiente
IGC	Codice internazionale per la costruzione e le dotazioni delle navi adibite al trasporto di gas liquefatti alla rinfusa
IGF	Codice internazionale per la sicurezza delle navi che utilizzano gas o altri combustibili a basso punto di infiammabilità
LSFO	Low Sulfur Fuel Oil, olio combustibile a basso tenore di zolfo
MGO	Gasolio marino
IMO	Organizzazione marittima internazionale
RO-RO	Roll on-roll off, navi traghetto per il trasporto di autoveicoli
STS	Ship To Ship, da nave a nave
TCA	Terminal traghetti Tolone Costa Azzurra
TTS	Truck To Ship, da autobotte a nave



### 3 Preambolo

#### 3.1 L'infrastruttura GNL e i terminali metaniferi

L'area del Mediterraneo che va dal Golfo di Lione al Mar Ligure è costellata da infrastrutture GNL, come mostrato nella figura seguente.



Funzionante



In costruzione

- Terminale di importazione GNL
- Unità di liquefazione GNL/impianto di liquefazione
- Stazione di rifornimento GNL a terra
- Nave bunker GNL
- Stazione di servizio per mezzi pesanti sulla rete stradale

Figura 3-1: Mappa delle infrastrutture GNL (2018) estratta dalla mappa di Gas Infrastructure Europe

La regione Provenza-Alpi-Costa Azzurra (PACA) dispone di 2 terminali GNL: FOS TONKIN e FOS CAVAOU. Questi 2 terminali sono le fonti di approvvigionamento preferite per rifornire Tolone.

I siti sono dotati di:

- Baie di distribuzione che consentono il carico di autobotti, con una capacità totale di 400.000 tonnellate all'anno, attualmente utilizzate al 30%.
- Sistemi per il carico di piccole metaniere o navi bunker.

Per ora, nessuno dei 2 siti è collegato direttamente alla rete ferroviaria. Il sito di Fos Tonkin è operativamente predisposto al collegamento indiretto alla ferrovia per mezzo di container ISO caricati presso la piattaforma multimodale vicino al sito.

	Fos Tonkin	Fos Cavaou	Totale
<b>Capacità<sup>1</sup></b>	36 slot al giorno su 2 baie di carico ovvero 190.000 t/anno	40 slot al giorno su 2 baie di carico ovvero 210.000 t/anno*	400.000 tonnellate
<b>Tonnellaggio (2019)</b>	11.000 tonnellate	8.000 tonnellate	119.000 tonnellate
<b>Tasso di utilizzo (2019)</b>	60%	4%	30%

Tabella 3-1: Capacità e tasso di utilizzo dei terminali nella regione PACA (fonti [1])

Gli altri terminali GNL più vicini si trovano a Barcellona e Cartagena in Spagna e a Panigaglia in Italia. In caso di approvvigionamento via ferrovia, si possono prendere in considerazione altre località.

Per quanto riguarda Livorno e la sua unità galleggiante di rigassificazione e stoccaggio (FSRU), è stato condotto uno studio con l'obiettivo di renderla un'infrastruttura cruciale per il trasporto di GNL. Questo studio è limitato alla rete italiana.

### 3.2 La filiera del GNL

La Figure 3-2 riepiloga la filiera del GNL da un terminale metanifero fino a una nave bunker con un eventuale stoccaggio locale intermedio.

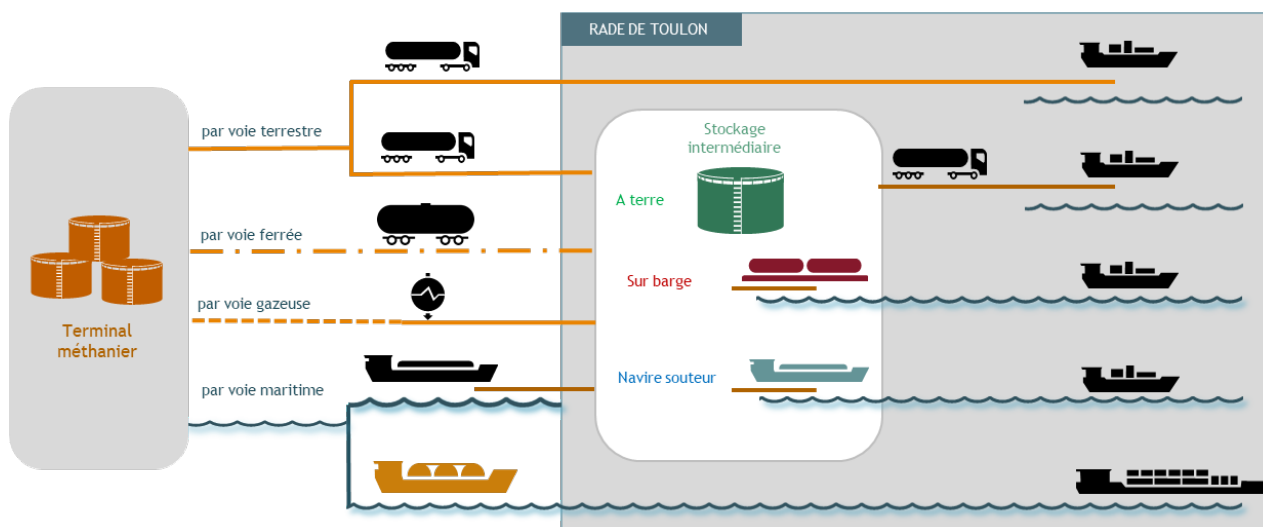


Figura 3-2: Riepilogo delle possibili catene di bunkeraggio

Il bunkeraggio del combustibile può avvenire via terra tramite autobotti o via mare tramite navi bunker. L'approvvigionamento di GNL può avvenire anche tramite liquefazione dalla rete di distribuzione del gas e via ferrovia.

<sup>1</sup> Calcolata su 250 giorni di attività all'anno.

## 4 DATI DI PARTENZA

### 4.1 Il bunkeraggio oggi nella rada di TOLONE

#### 4.1.1 Informazioni generali

Con rifornimento s'intende l'operazione di trasferimento di un carico a bordo di una nave. Nello specifico, con bunkeraggio si indica il trasferimento di combustibile nei bunker della nave per generare energia, principalmente ai fini della propulsione.

Sotto il termine bunkeraggio rientrano:

- Le operazioni da eseguire in tempo mascherato sul molo durante gli scambi commerciali in porto;
- Le operazioni eseguite con una nave che si sposta specificamente verso un luogo definito per caricare carburante.

La prima categoria di bunkeraggio è la più comune per le navi commerciali ed è fortemente vincolante, in quanto impone il trasferimento di determinati volumi entro un certo periodo di tempo. Paradossalmente, questo vincolo riguarda in particolare le navi con i bunker di carburante più grandi.

L'EMSA ha classificato i vari bunkeraggi in base al tipo di nave:

Tipo di nave (nave ricevente)	Capacità bunker m <sup>3</sup>	Flusso m <sup>3</sup> /h	Durata	Diametro tubi o bracci di carico	Modalità di bunkeraggio adatta
Imbarcazioni di servizio, rimorchiatori, motovedette e pescherecci	50	60	45 min	2x2" o 1x3"	TTS
Navi ro-ro e ro-pax di piccole dimensioni	400	400	1 h	2x4" o 1x6"	TTS/STS
Navi ro-ro e ro-pax di medie dimensioni	800	400	2 h	2x4" o 1x6"	STS
Navi da carico, portacontainer e mercantili di piccole dimensioni	da 2.000 a 3.000	1.000	da 2 a 3 h	2x8" o 1x12"	STS
Navi mercantili di medie dimensioni	4.000	1.000	4 h	2x8" o 1x12"	STS
Navi cisterna, portarinfuse e portacontainer di medie dimensioni	10.000	2.500	4 H	2x10"	STS/PTS
Navi cisterna e portacontainer di grandi dimensioni	20.000	3.000	7 h	2x12"	STS/PTS

Tabella 4-1: Indicazione del volume di bunkeraggio GNL tipico per categoria di nave (fonte [1])

Con un fabbisogno di circa 1.800-4.000 m<sup>3</sup>, le navi da crociera rientrano nella categoria dei mercantili di piccole dimensioni per cui è preferibile il bunkeraggio STS.

Nel resto del documento, e per semplificare, una tonnellata di olio bunker corrisponde a 2 metri cubi di GNL.

Con olio si intendono i combustibili liquidi attualmente utilizzati. Il termine generico per tutti questi idrocarburi è **combustibile marino convenzionale** che comprende gli oli combustibili pesanti (HFO) e il gasolio marino leggero per motori diesel (DML), definizione che a sua volta raggruppa il gasolio marino (MGO) e i combustibili a basso tenore di zolfo (LSFO).

#### 4.1.2 Il bunkeraggio di combustibili marini

I dati relativi al bunkeraggio nel porto di Tolone sono stati forniti dalla capitaneria e raccolti in allegato (v. capitolo 10). Questi dati sono limitati al 2019, anno di riferimento dello studio.

Nella rada di TOLONE i combustibili marini convenzionali vengono utilizzati principalmente per:

- I traghetti di CORSICA FERRIES, riforniti da petroliere della compagnia MARITIMA provenienti da Fos (olio combustibile pesante e gasolio marino leggero)
- Le navi posacavi ORANGE MARINE, le navi da ricerca IFREMER e le navi di servizio rifornite da autobotti (combustibili marini leggeri)

Le navi da crociera e ro-ro non vengono rifornite nel porto di TOLONE. Per motivi per lo più commerciali che tecnici, le navi da crociera fanno rifornimento nei porti capolinea. È molto improbabile che in futuro queste navi facciano rifornimento nel porto di TOLONE, con combustibili marini convenzionali o GNL che sia.

Considerato il basso volume annuo di bunkeraggio rispetto ai traghetti, le navi da ricerca, le navi di servizio e le navi posacavi non vengono considerate per il passaggio al GNL.

Nell'anno 2019 si osserva la seguente distribuzione di bunkeraggi:

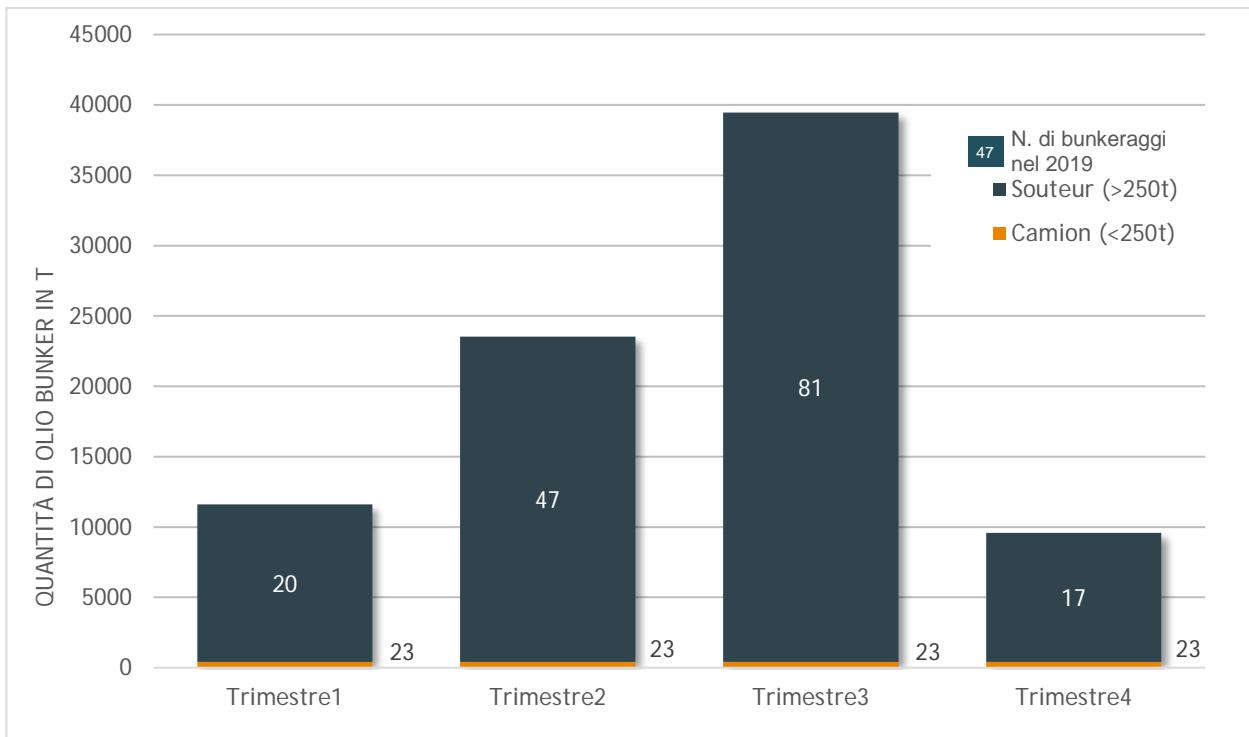


Tabella 4-2: Distribuzione dei bunkeraggi in tonnellate nel 2019

Logicamente, la maggiore frequenza dei traghetti durante l'estate comporta un picco nei volumi di bunkeraggio in questo periodo. I volumi elevati del terzo trimestre sono da tenere sotto controllo e verranno trattati più avanti in questo studio.

La quantità di combustibile marino leggero rifornito tramite autobotti durante l'anno è bassa.

#### 4.1.3 Mappa dei bunkeraggi

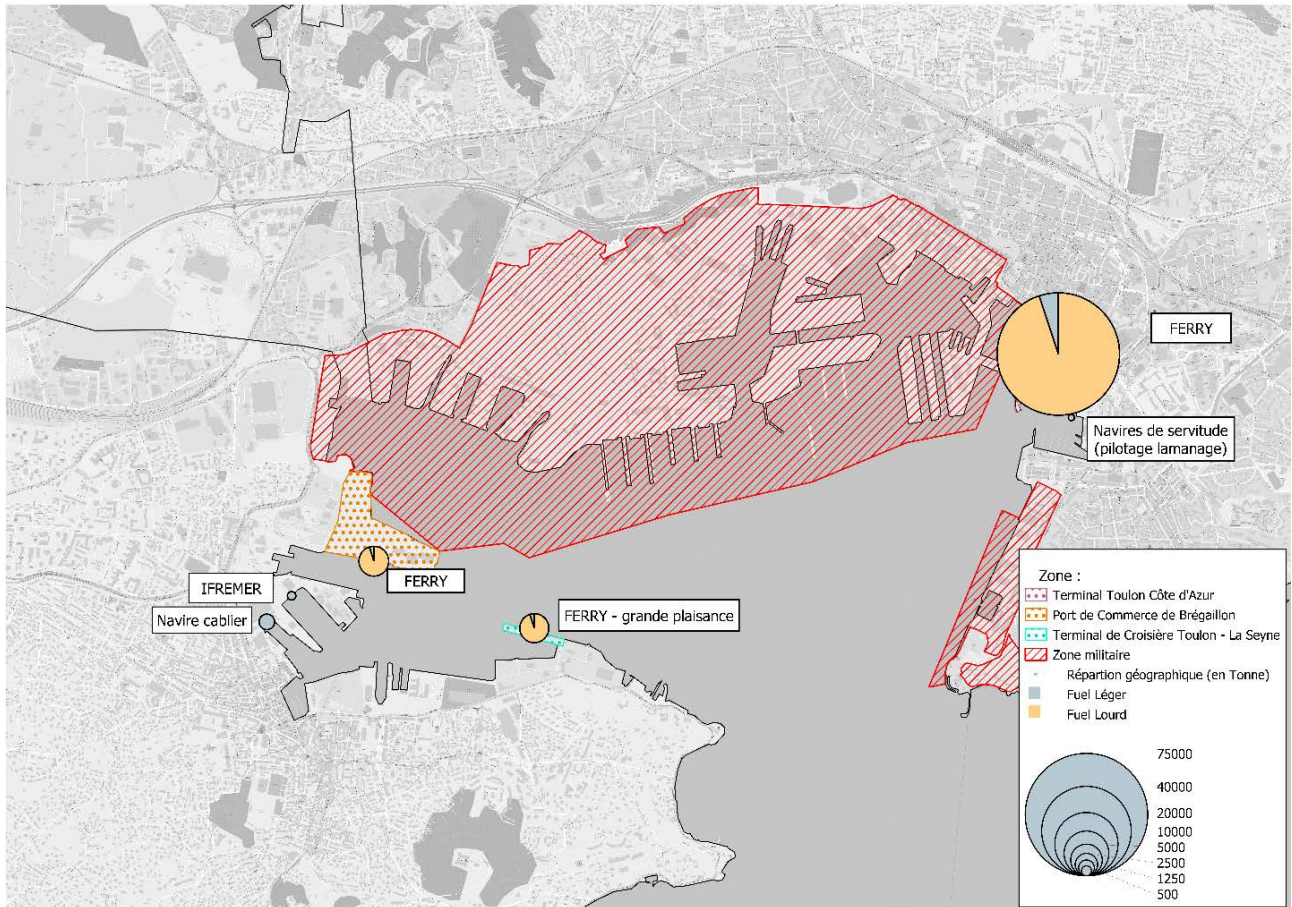


Figura 4-1: Distribuzione geografica dei bunkeraggi nel 2019

#### 4.1.4 Il bunkeraggio di GNL

Ad oggi nel porto di Tolone non si effettuano bunkeraggi di GNL.

Attualmente è in corso uno studio dei rischi per analizzare il caso in cui una nave alimentata a GNL sia ormeggiata in porto.

## 4.2 Dati amministrativi e normativi

### 4.2.1 Quadro normativo europeo per le infrastrutture

Nella guida EMSA (rif. [1]) è presente un elenco abbastanza esaustivo delle norme applicabili, nonché degli standard di settore e di come si correlano. Di seguito è riportato uno schema riassuntivo:

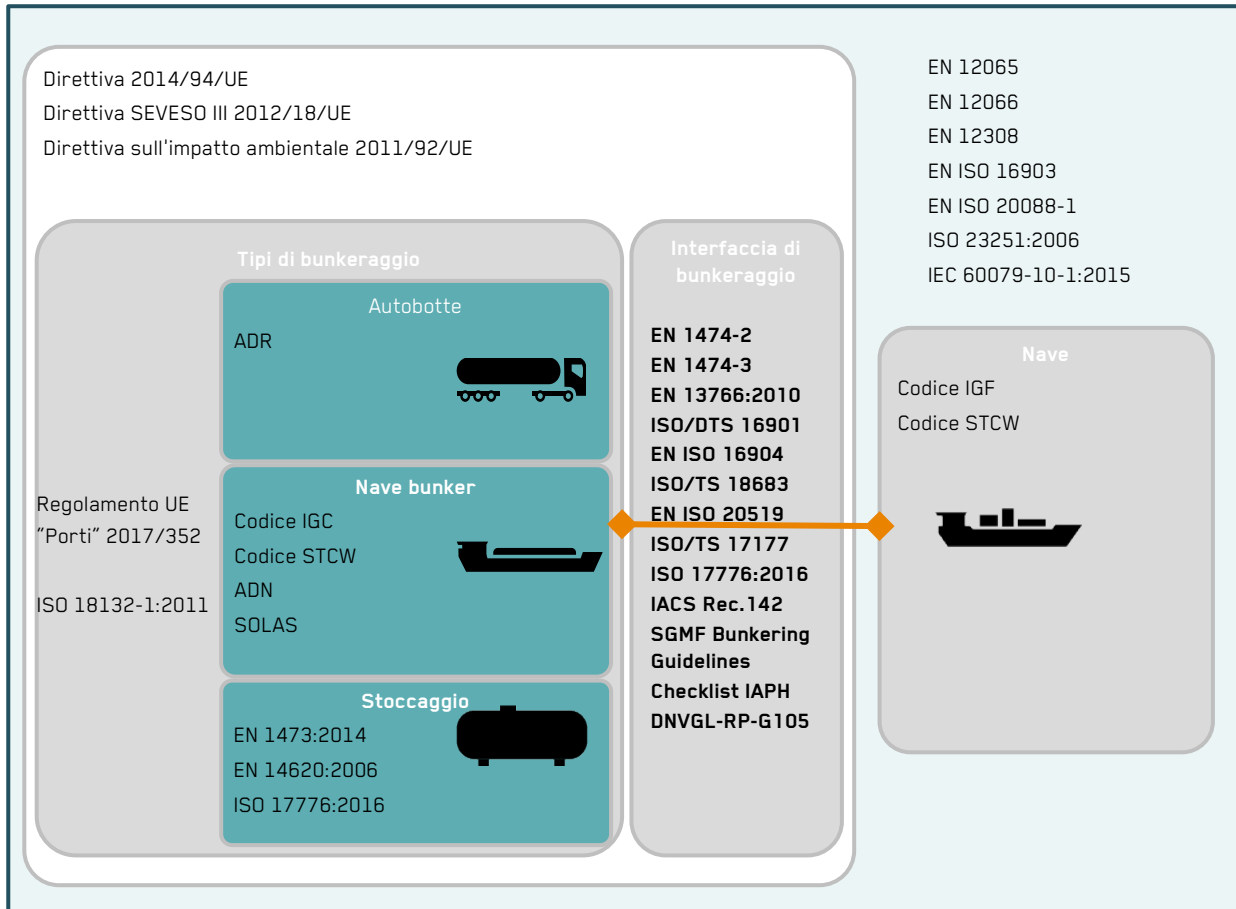


Figura 4-2: Schema delle norme europee per un'infrastruttura GNL

### 4.2.2 Studio dei rischi

Il porto di Tolone, in quanto infrastruttura di trasporto, ha condotto uno studio dei rischi così come previsto dal Code de l'environnement.

Ai fini del bunkeraggio di GNL e dell'eventuale stoccaggio nel porto di Tolone, sarà necessario fare riferimento a tale studio per tener conto degli ulteriori rischi connessi nonché delle interazioni con gli altri impianti del porto, in particolare gli ICPE. Tali rischi dovranno essere valutati sulla base del raggio di pericolo (entità dei danni) e della probabilità che si verifichino gli scenari analizzati.

Oltre ai requisiti europei, la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) ha esaminato la questione delle norme e delle leggi da applicare alle diverse tipologie di impianti GNL. Una nota dedicata al bunkeraggio di GNL delle navi (rif. [2]) offre un'analisi del quadro normativo per questo tipo di impianti.

In particolare si afferma quanto segue:

- **Qualsiasi oggetto galleggiante e idoneo a navigare** è soggetto alle norme internazionali dell'IMO.
- **L'utilizzo e le ispezioni** sono soggetti alle autorità marittime che ne verificano la conformità. In questo contesto, la nave non costituisce di per sé un impianto ICPE.
- **Qualsiasi bettolina** senza equipaggio permanente né mezzo di propulsione deve essere oggetto di un fascicolo ICPE.
- **Le unità di stoccaggio FSU** eventualmente ancorate in mare aperto sono soggette a esame caso per caso.
- **Qualsiasi deposito di stoccaggio a terra** deve essere conforme alle norme per gli ICPE con i necessari studi dei rischi e l'integrazione nel Plan de Prévention du Risque Technologique (PPRT).
- **Le autobotti** devono rispettare le norme per il trasporto su strada (ADR [32]).

Di conseguenza, solo le soluzioni di bunkeraggio che utilizzano i mezzi elencati di seguito saranno degli impianti ICPE per i quali è necessario depositare un fascicolo di registrazione o autorizzazione a seconda delle capacità implementate:

- Bettolina ancorata senza equipaggio né propulsione;
- Unità di stoccaggio galleggiante (FSU);
- Deposito di stoccaggio a terra.

Gli altri mezzi di bunkeraggio verranno esaminati in fase di revisione dello studio dei rischi del porto.

Nota: un oggetto galleggiante e idoneo a navigare utilizzato per il bunkeraggio, se limitato alla navigazione interna, è soggetto alla direttiva UE 2016/1629 del 14 settembre 2016, che stabilisce i requisiti tecnici per le navi adibite alla navigazione interna. Per i galleggianti speciali il certificato europeo vale come attestato di navigabilità. Il sistema tecnico di riferimento associato a questo certificato è la norma europea ES-TRIN che stabilisce i requisiti tecnici applicabili alle unità navali addette alla navigazione interna, attuata in Francia con decreto del 5 novembre 2018. Suddetta norma non si applica alle navi in possesso dei certificati di sicurezza e prevenzione dell'inquinamento previsti da altri regolamenti (SOLAS e MARPOL o equivalenti).

#### 4.2.3 Normativa portuale

Il transito e la movimentazione di merci pericolose nei porti sono soggetti al Règlement pour le transport et la manutention des marchandises dangereuses dans les ports (RPM). Per Tolone, il regolamento RPM trova attuazione nel Règlement local pour le transport et la manutention des marchandises dangereuses (RLMD), norma che tiene conto delle specificità del porto.

Il porto commerciale di Tolone-La Seyne inoltre è soggetto a un regolamento speciale di polizia emanato con decreto prefettizio n. 2017-104.

Ai fini delle operazioni di bunkeraggio di GNL, è necessario tener conto dei suddetti regolamenti, e in particolare dei punti seguenti:

- Checklist per il bunkeraggio tramite autobotti e navi basate sulle raccomandazioni dell'IAPH[15]. Queste checklist dovranno essere disponibili nel regolamento del porto.
- Ogni operatore deve essere autorizzato dall'autorità portuale.

### 4.3 Volumi di GNL

Sulla base dei documenti [3] e [4], sono state estrapolate le seguenti proiezioni per i prossimi 10 anni:

■ Scenario pessimistico:

Il consumo di GNL si limiterebbe alle navi già ordinate senza un ulteriore sviluppo:

- CMA CGM: 9 navi portacontainer (9x30 kt l'anno) a Marsiglia;
- Corsica Linea: 1 traghetto (-11 kt l'anno) a Marsiglia.

Per quanto riguarda le navi da crociera, il bunkeraggio verrebbe effettuato a Barcellona invece che nella regione meridionale.

Secondo lo **scenario pessimistico** di questi documenti, **non ci saranno sbocchi per il GNL nella rada di TOLONE** nei prossimi 10 anni.

■ Scenario ottimistico:

Il consumo di GNL sarebbe di 200 kt l'anno in più rispetto al consumo dell'anno precedente per Marsiglia, **Tolone**, Sète e Nizza e corrisponderebbe al:

- bunkeraggio di un ulteriore traghetto all'anno (+11 kt l'anno);
- bunkeraggio di un'ulteriore nave di linea ogni 3 anni (+30 kt l'anno).

La quota del porto di Tolone riguarderebbe solo **una parte dei nuovi traghetti a GNL** nell'arco del decennio. Il capitolo 7.2 descrive in dettaglio la probabile evoluzione del bunkeraggio di GNL nella rada di TOLONE in questo scenario.

*Nota:*

*11 kt l'anno corrispondono a circa 24.000 m<sup>3</sup> di GNL all'anno*

*30 kt l'anno corrispondono a circa 65.300 m<sup>3</sup> di GNL all'anno*



## 5 IL PERCORSO DEL GNL VERSO LA RADA DI TOLONE

Le sezioni seguenti descrivono i diversi itinerari possibili del GNL da un terminale metanifero.

### 5.1 Via terra

Il GNL può essere trasportato sulla rete stradale dal terminale metanifero alla rada di Tolone tramite autobotti, utilizzabili anche per il bunkeraggio diretto delle navi o per alimentare un deposito di stoccaggio intermedio.

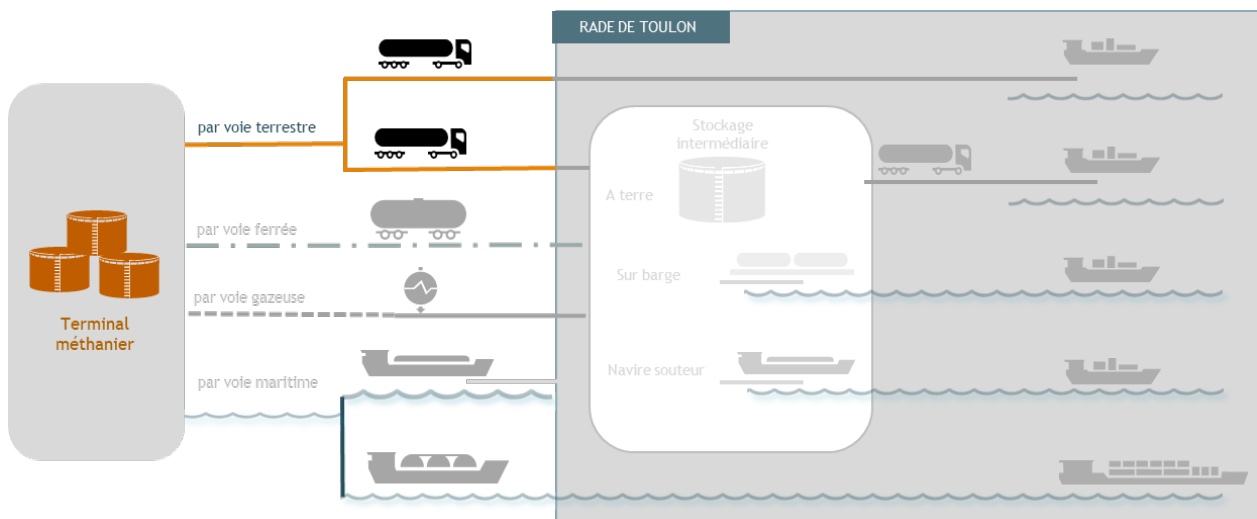


Figura 5-1: Architettura della catena di approvvigionamento del GNL via terra

#### 5.1.1 Mezzi

Il trasporto su strada può avvenire a mezzo autobotte o cisterna isolata standard, altrimenti detta container ISO.

- Le autobotti hanno una portata nominale di 20-30 m<sup>3</sup> e i rimorchi di circa 50 m<sup>3</sup>.



Figura 5-2: Autobotte e rimorchio per GNL

- I container ISO hanno un volume di circa 20 m<sup>3</sup> per i modelli da 20' e circa 43 m<sup>3</sup> per i modelli da 40'.



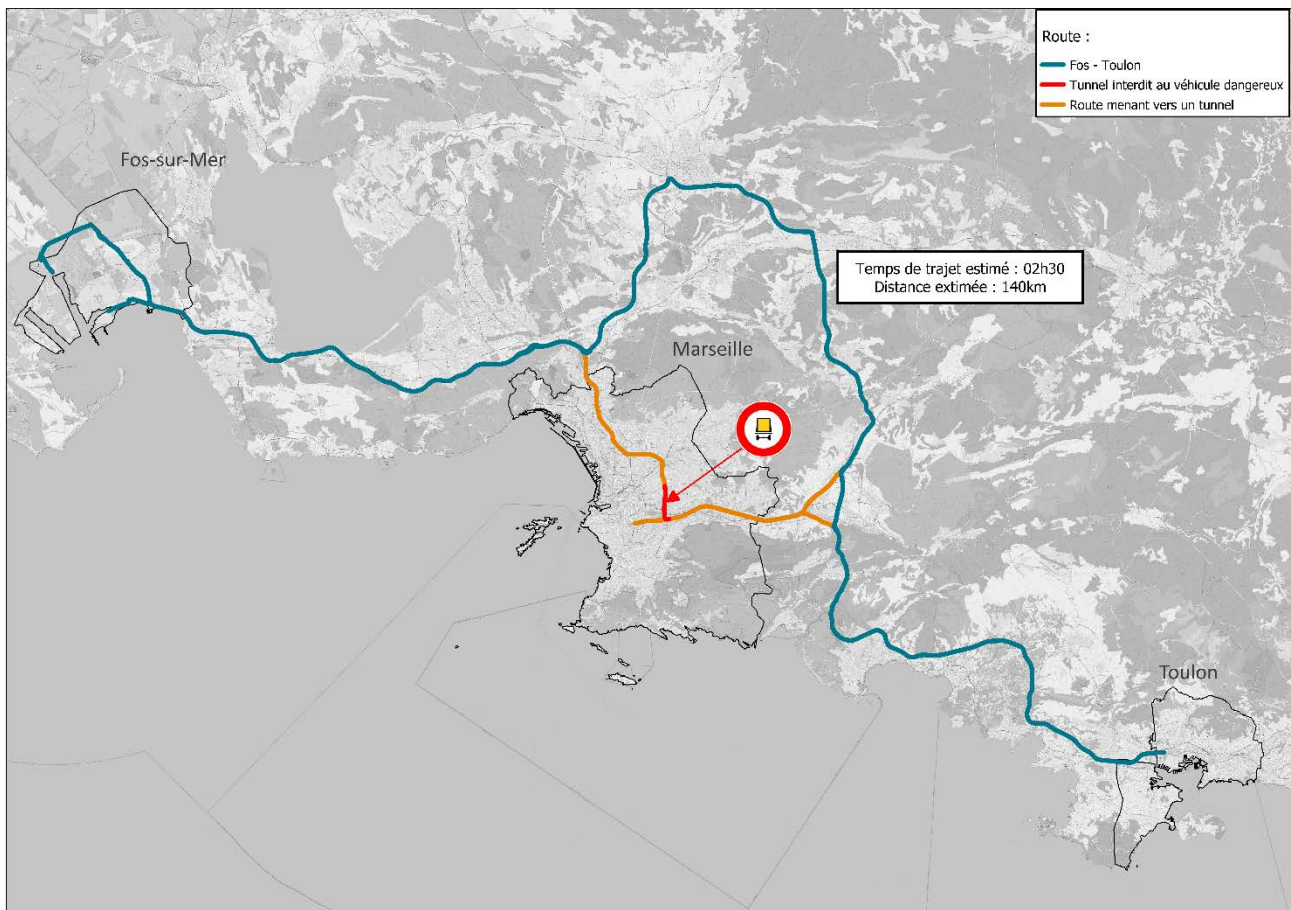
Figura 5-3: Camion e container ISO per GNL

I container ISO consentono tra l'altro di stoccare il GNL per un periodo massimo di 1 mese e mezzo circa. Superato questo termine si raggiunge la pressione massima ammissibile del container a causa della naturale evaporazione del GNL.

I container ISO possono essere stoccati al porto di Brégaillon e poi trasportati, se possibile, su camion o bettolina fino al punto di consegna del GNL.

### 5.1.2 Strade e itinerario

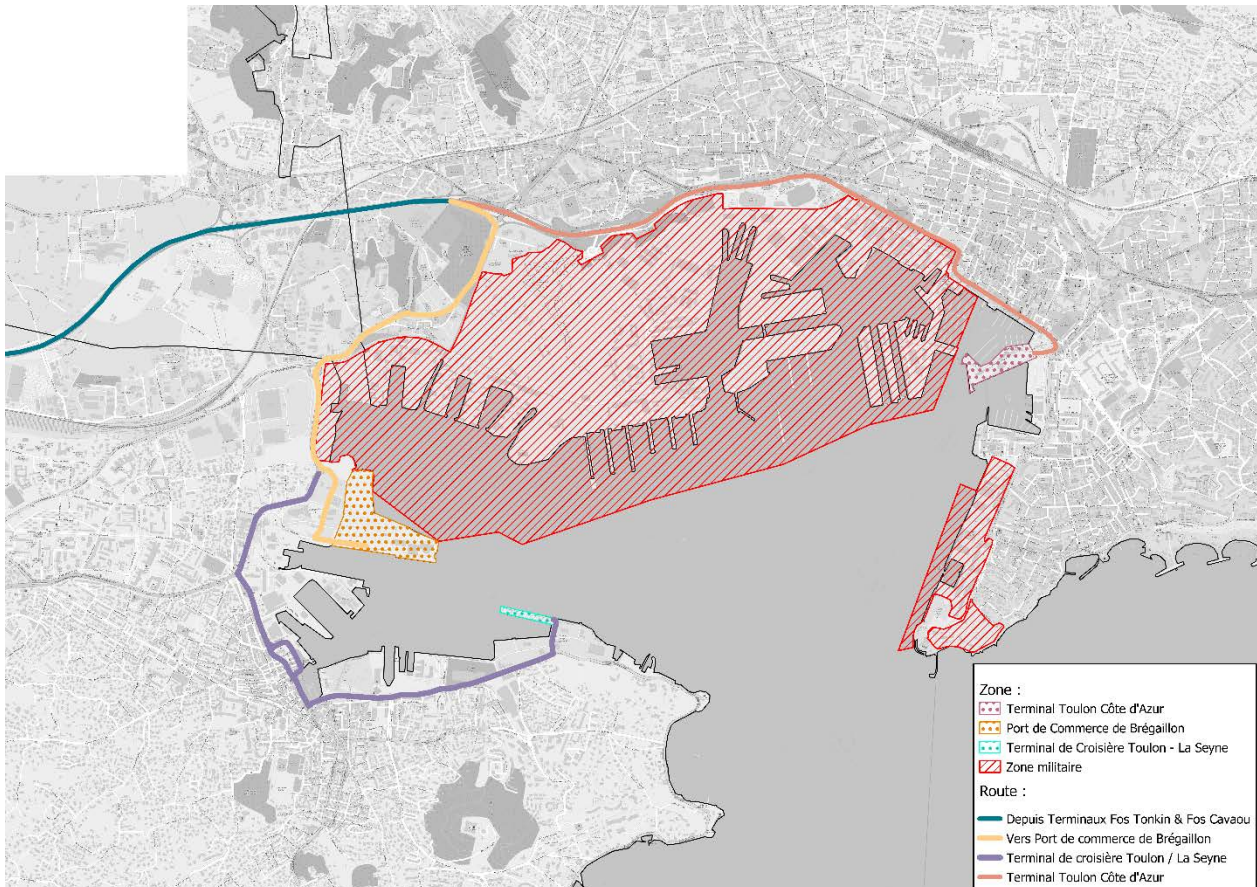
- Itinerario dai terminali di Fos Tonkin e Fos Cavaou:



*Figura 5-4: Itinerario stradale da Fos Cavaou/Fos Tonkin alla rada di Tolone*

I camion dovranno attraversare Aix-en-Provence a nord, poiché la galleria Rocade L2 (A507) è vietata ai veicoli che trasportano merci pericolose.

Non ci sono restrizioni per l'accesso alle varie aree portuali intorno alla rada di Tolone.



*Figura 5-5: Itinerario stradale nella rada di Tolone*

■ Itinerario dal terminale di Panigaglia (Italia):

l'approvvigionamento su strada dal terminale di Panigaglia **non è possibile a causa del divieto di trasporto di merci pericolose:**

- sull'autostrada A8 tra il casello di Antibes e il confine italiano (esclusivamente per il trasporto di ossido di etilene, salvo in casi di forza maggiore);
- nei trafori del Monte Bianco, di Fourvière e del Fréjus (classe 1 e altre classi, a seconda del tipo di imballaggio).

## 5.2 Via mare

L'approvvigionamento di Tolone via mare può avvenire dai terminal di Fos o tramite metaniere o tramite navi bunker per il bunkeraggio diretto.

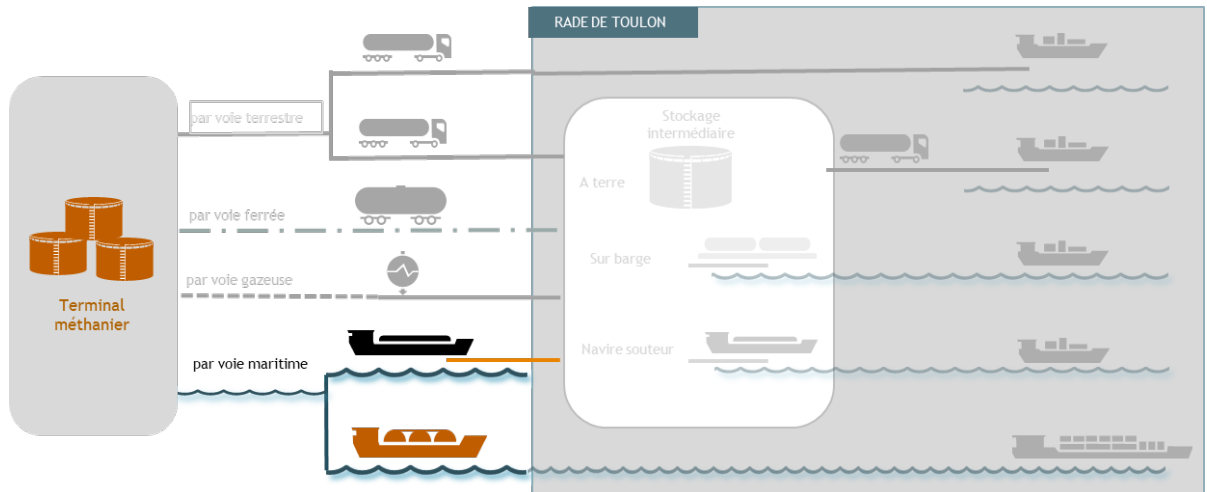


Figura 5-6: Architettura della catena di approvvigionamento del GNL via mare

### 5.2.1 Metaniere e navi bunker

Le metaniere più piccole hanno una portata di 20.000 m<sup>3</sup> e sono poco presenti. Richiedono un'infrastruttura di scarico con stoccaggio, solitamente a terra. Questo tipo di infrastruttura viene utilizzata per volumi piuttosto grandi.

I bunker offshore sono metaniere con portata ridotta e in particolare permettono di trasferire il carico direttamente a bordo delle navi. Ecco un elenco di alcune navi bunker esistenti:

	Cardissa*	Coralius	ENGIE Zeebrugge	Coral Methane	Gas Agility
Operatori	Shell	Gasum	Engie/GDF Suez	Anthony Verder	MOL per Total
Capacità di stoccaggio in m <sup>3</sup>	6500	5800	5000	7500	18600
Lunghezza in m	120	100	107,6	117,8	135,5
Larghezza in m	20	18	18,4	18,6	24
Pescaggio in m	5,5	5,7	5	6	6,7

Tabella 5-1: Dati tecnici delle principali navi bunker

\* La nave Cardissa di Shell è destinata ai bunkeraggi nel Mar Baltico.



Figura 5-7: Esempi di nave bunker offshore

Alcune di queste navi hanno un contratto di approvvigionamento con un armatore specifico. È il caso, ad esempio, delle navi bunker per le portacontainer CMA CGM. Le navi bunker vengono noleggate da Total Marine Fuel Global Solutions (TMFGS) e con un noleggio a lungo termine da Mitsui O.S.K. Lines Ltd. (MOL).

### 5.2.2 Itinerari marittimi

- Itinerario dai terminali di Fos Tonkin e Fos Cavaou (Francia) e Panigaglia (Italia):

Il tempo di percorrenza dal Golfo di Fos è di circa 5 ore e 30 minuti di navigazione (75 miglia nautiche). Invece, il tempo di percorrenza dal Golfo di Panigaglia è di 27 ore di navigazione (370 miglia nautiche).



Figura 5-8: Itinerario via mare dal Golfo di Fos/Panigaglia alla rada di Tolone

### 5.3 Via ferrovia

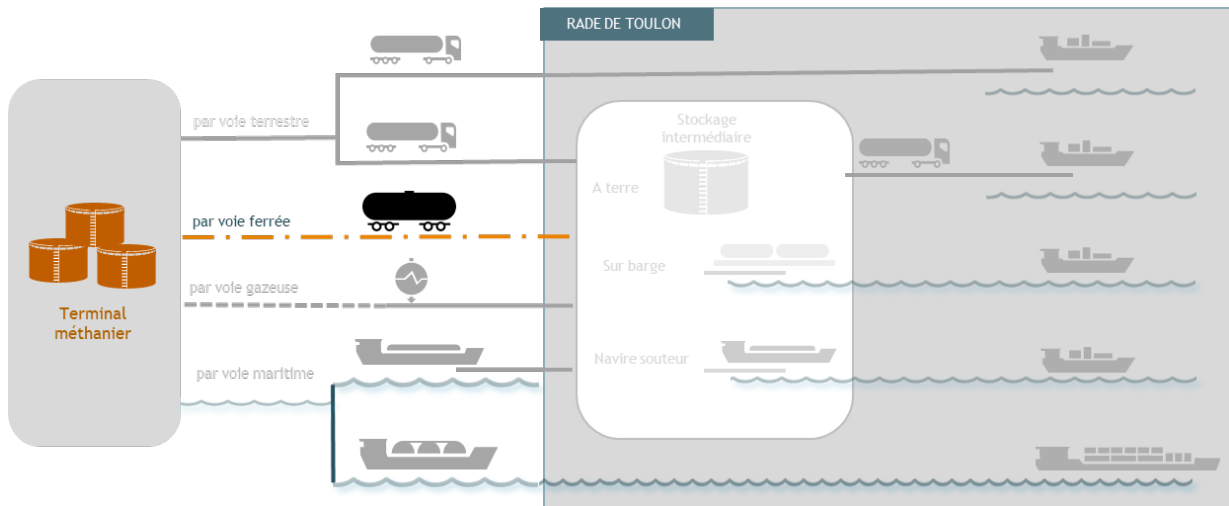


Figura 5-9: Architettura della catena di approvvigionamento del GNL via ferrovia

#### 5.3.1 Mezzi

Il GNL può essere trasportato in vagoni appositi dotati di cisterna criogenica o in container ISO (v. anche la sezione §5.1.1 per il trasporto su strada) su carri merci standard.



Figura 5-10: Esempio di trasporto di GNL su ferrovia: carro cisterna per GNL o container ISO

Per il trasporto di GNL si preferisce ricorrere a container ISO criogenici su carro merci standard perché più comodi per trasferire il GNL dal treno a un camion. D'altro canto, questa è la modalità attualmente adottata al terminale di Fos TONKIN.

Un convoglio completo può trasportare circa 1.800 m<sup>3</sup> di GNL (circa 40 container ISO su un convoglio di 500 m).

### 5.3.2 Itinerari e collegamenti



*Figura 5-11: Collegamento ferroviario da Fos Cavaou/Fos Tonkin alla rada di Tolone*

Non ci sono binari che consentono l'accesso diretto ai terminali di Fos Tonkin e Cavaou.

Ciononostante, al terminale di FOS Tonkin, ELENGY può utilizzare le baie di carico per camion per poi mettere i container ISO su ferro. La cadenza standard è di un convoglio a settimana. Uno dei vantaggi del trasporto con container ISO è quello di poter utilizzare le piattaforme multimodali già presenti.

A Tolone invece è in corso il ripristino del collegamento ferroviario con il terminale di Brégaillon (porto commerciale di Tolone-La Seyne-sur-Mer), con la ripresa del servizio prevista per l'estate 2021. Questa linea ferroviaria consentirà il trasporto merci:

- Alla rinfusa
- In container
- In casse mobili
- In container ISO per GNL
- Di veicoli leggeri nuovi

Nel porto commerciale di Brégaillon, i container ISO per GNL potrebbero rifornire le navi commerciali che vi attraccano, come ro-ro, ro-pax o traghetti.

## 5.4 Via gasdotto

In questo caso viene utilizzata la rete di distribuzione del gas naturale con in più un'unità di liquefazione per ridurlo allo stato liquido. Il gas naturale potrebbe provenire da unità di metanazione per la valorizzazione della materia organica.

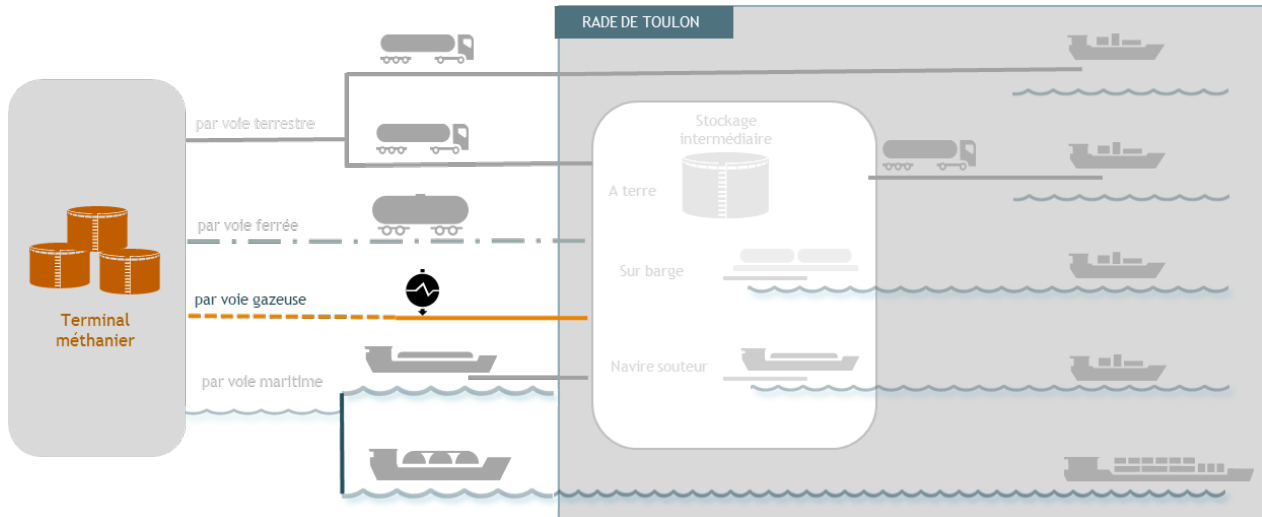


Figura 5-12: Architettura della catena di approvvigionamento del GNL via gasdotto

C'è un gasdotto principale che arriva a nord della rada di Tolone.

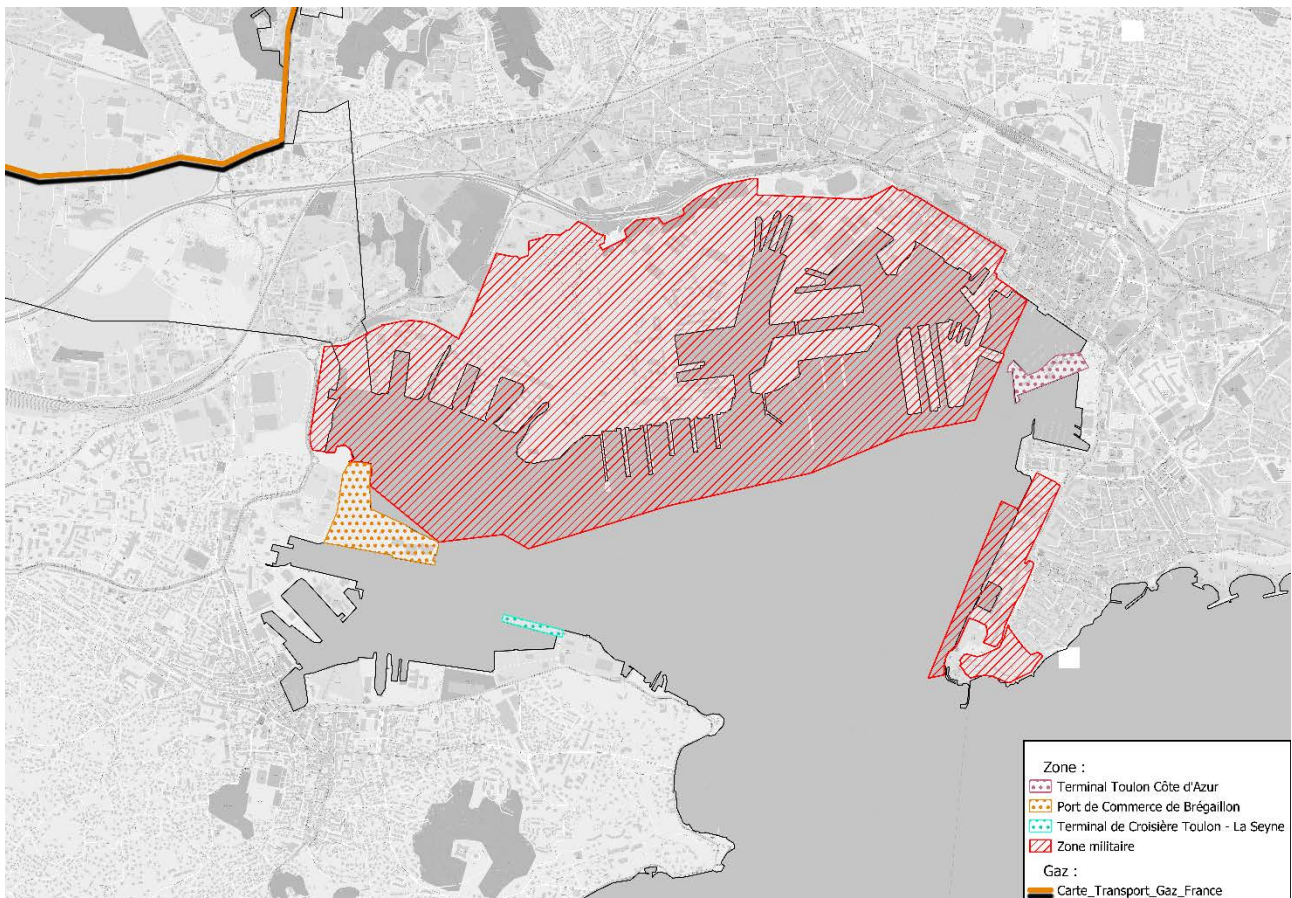


Figura 5-13: Rete di distribuzione del gas



Le unità di liquefazione di piccola-media taglia portano il gas naturale allo stato liquido mediante vari processi di scambio termico. La capacità di liquefazione varia:

- da 2 a 50 tonnellate al giorno per un'unità piccola;
- da 100 a 800 tonnellate al giorno per un'unità media.

Questi impianti comprendono le seguenti unità principali:

- Pre-trattamento del gas
- Liquefazione
- Stoccaggio del GNL.

L'impronta di suolo della sola unità di liquefazione si aggira sui 1.000 m<sup>2</sup>, che è abbastanza importante. In parte è dovuta al tetraidrotiofene, la sostanza usata per odorizzare il gas, che ne impedisce la liquefazione dalla rete di distribuzione urbana. L'uso del biogas non richiede questa unità di trattamento, ma i volumi sono ben al di sotto del fabbisogno di combustibile marino. Inoltre bisogna tener conto della capacità di stoccaggio.

Il costo di un impianto di liquefazione con una capacità di 165 tonnellate (360 m<sup>3</sup>) al giorno è di circa 17 milioni di euro (opere civili e studi del suolo esclusi)

L'ordine di grandezza per le unità a terra è di **5,5 milioni di euro** per una produzione di 90 tonnellate (200 m<sup>3</sup>) al giorno.

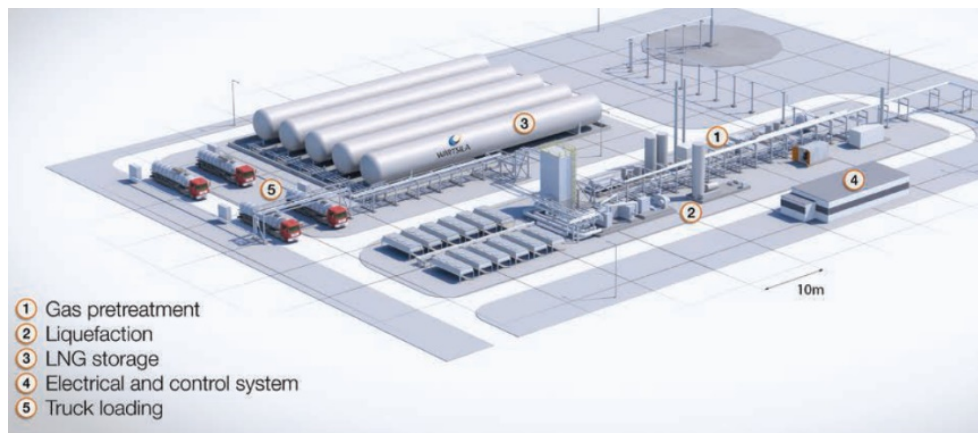


Figura 5-14: Unità di liquefazione

## 5.5 Tramite stoccaggio intermedio

Lo stoccaggio intermedio consente di:

- **Garantire un approvvigionamento costante** durante eventuali picchi di domanda;
- Migliorare la logistica di fornitura;
- **Superare** i vincoli di approvvigionamento nei terminali metaniferi. La disponibilità continua di GNL è una sfida sul piano strategico e commerciale;
- **Estendere l'influenza logistica** oltre l'area portuale, consentendo l'approvvigionamento di GNL ad altri mercati di sbocco.

Si distinguono due categorie di stoccaggio intermedio per le quali esistono soluzioni a terra e galleggianti:

- Impianti di piccola taglia con capacità fino a 5.000 m<sup>3</sup>;
- Impianti di grande taglia con capacità da 20.000 m<sup>3</sup> a 150.000 m<sup>3</sup>.

### 5.5.1 Impianti di piccola taglia con capacità fino a 5.000 m<sup>3</sup>

Il vantaggio principale è l'adattabilità al fabbisogno. Il volume può essere adattato con più impianti di piccola taglia.

Questo tipo di stoccaggio intermedio si può alimentare con vari mezzi: autobotte, bettolina, nave bunker, impianto di micro-liquefazione o treno.

Il deposito di stoccaggio può essere a terra o galleggiante.

- Lo **stoccaggio a terra** è utilizzato nei casi in cui l'autobotte è il mezzo di bunkeraggio principale.

Ciò implica la disponibilità e l'adeguamento di una riserva di terreno. Ad esempio, il sito di rifornimento GNL a Klaipėdà, in Lituania, occupa 6.000 m<sup>2</sup> per 5 serbatoi sferici orizzontali da 1.000 m<sup>3</sup>. I serbatoi di stoccaggio possono avere una forma sferica o cilindrica.

- Quelli **sferici** vengono installati in verticale per un ingombro ridotto.
- Quelli **cilindrici** vengono installati in orizzontale per una minore resistenza al vento.



*Figura 5-15: Stoccaggio intermedio a terra di piccola taglia*

Esistono varie taglie di serbatoi sferici a pressione: le dimensioni variano a seconda delle esigenze finali. Nella tabella seguente sono elencate le diverse taglie disponibili sul mercato:

	320 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup>	1.000 m <sup>3</sup>
Peso - Netto	71 t	100 t	218 t
Lunghezza	30 m	45 m	50 m
Diametro	4 m	4,5 m	6 m
Installazione	Verticale	Orizzontale	Orizzontale

*Tabella 5-2: Dimensioni tipiche dei serbatoi sferici a pressione*

Tenere presente che esistono serbatoi di taglia inferiore, utilizzati soprattutto per le stazioni NGV, ma che non sono rilevanti per i volumi richiesti per la filiera del GNL come combustibile marino.

Da un punto di vista economico, il costo di tale infrastruttura si aggiunge ai costi di trasferimento diretto dal terminale metanifero alla nave attraccata.

Questa soluzione si rivela vantaggiosa in quanto garantisce l'autonomia e la disponibilità di fornitura del GNL, senza le difficoltà di rifornimento dei terminali metanieri e con la possibilità di soddisfare le richieste urgenti.

Alcuni armatori potrebbero essere interessati ad avere un accesso privilegiato a una fonte di GNL in caso di difficoltà nel porto di approvvigionamento preferito. In un contesto in cui l'uso del GNL per il rifornimento delle navi è ancora agli albori, lo stoccaggio intermedio potrebbe migliorare l'offerta dei servizi portuali, nonché soddisfare una futura crescita in termini di capacità.

Un altro uso possibile è dato dallo stoccaggio temporaneo per container ISO. Questi infatti, come si è già detto prima, sono concepiti per consentire lo stoccaggio del GNL per un mese circa e possono essere impilati per limitare l'ingombro. Questa modalità permette inoltre di adattare il volume di stoccaggio in base alla domanda.

- Lo **stoccaggio intermedio** dedicato è una soluzione per un **gruppo di navi dello stesso tipo**: stessi volumi da rifornire, stessa posizione del punto di raccordo. Il serbatoio sferico è installato sulla banchina, il raccordo è progettato per un tipo di nave, il volume di stoccaggio è dimensionato per questo gruppo di navi ed equivale a varie autobotti da 300 m<sup>3</sup> a 500 m<sup>3</sup>.

L'impianto deve trovarsi in prossimità della nave da rifornire per limitare/ridurre la lunghezza delle tubazioni e quindi i relativi costi di raffreddamento e inertizzazione.



Figura 5-16: Impianto di bunkeraggio con serbatoio di stoccaggio fisso (porto di Hirtshals, in Danimarca, per Fjord Line)

Il vantaggio principale di questa soluzione è che **evita i passaggi di camion sulla banchina** quando sono in corso altre operazioni. Pertanto si rivela una soluzione interessante in termini di **sicurezza** per le navi passeggeri durante le fasi di imbarco e sbarco. Nell'esempio della Figure 5-16, la passerella per lo sbarco a terra è a tenuta stagna per proteggere i passeggeri dal rilascio accidentale di gas.

I mezzi di bunkeraggio sono specifici delle navi. Poiché l'impianto è fisso, la flessibilità operativa è limitata.

D'altronde, bisognerà tener conto dell'aspetto normativo legato allo stoccaggio di GNL, all'ICPE e allo studio dei rischi.

- Lo **stoccaggio galleggiante** è utilizzato prevalentemente con le navi bunker e comprende diversi sistemi descritti e disciplinati dai codici marittimi internazionali, quali il codice IGC (International Gas Code) e il codice IGF, che disciplina la progettazione delle unità navali alimentate a GNL.

I sistemi si distinguono in:

- serbatoi di tipo C
- serbatoi di tipo B e A
- serbatoi a membrana.

I **serbatoi di tipo C** sono l'equivalente marittimo dei serbatoi *a terra* **sferici o cilindrici**. Hanno una forma a cilindro o parallelepipedo. Possono essere isolati termicamente mediante una o più tecniche combinate come il sotto vuoto, la perlite, il poliuretano, il polistirolo, ecc.

La principale caratteristica operativa degli stoccaggi di tipo C è la loro capacità di resistere a pressioni elevate, il che offre flessibilità e facilità di gestione delle scorte di GNL, conservato a  $-163^{\circ}\text{C}$ .

I serbatoi di tipo C sono generalmente installati orizzontalmente nello scafo o sul ponte esterno.

I **serbatoi di tipo B e A** sono costruiti su misura per essere collocati nello scafo, ma non hanno la stessa resistenza alla pressione del tipo C (pressione di progettazione  $< 0,7$  barg). La loro costruzione è più riservata e ridotta in termini di cantieri e stabilimenti.

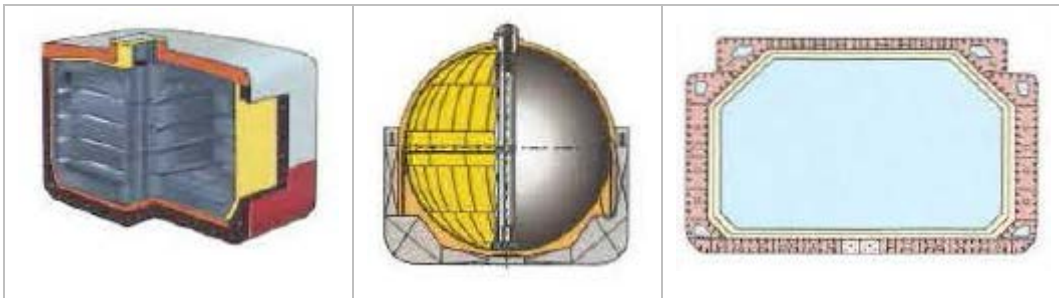


Figura 5-17: Serbatoi di tipo B: prismatico, sferico e a membrana

Questi serbatoi sono adatti per volumi superiori a  $5.000 \text{ m}^3$ .

Esistono diversi tipi di unità galleggiante:

- ormeggiata alla banchina e spostata periodicamente per mezzo di un rimorchiatore;
- semovente;
- ancorata in mare aperto o in porto.

**Unità galleggiante ormeggiata alla banchina.** Resta ormeggiata la maggior parte del tempo. Per spostarla e accoppiarla si utilizza un rimorchiatore o spintore. Per questo motivo alcune bettoline hanno la parte posteriore fatta in modo da inserire la parte anteriore di un rimorchiatore/spintore. Le dimensioni della bettolina sono adatte per l'utilizzo in uno specchio d'acqua protetto.

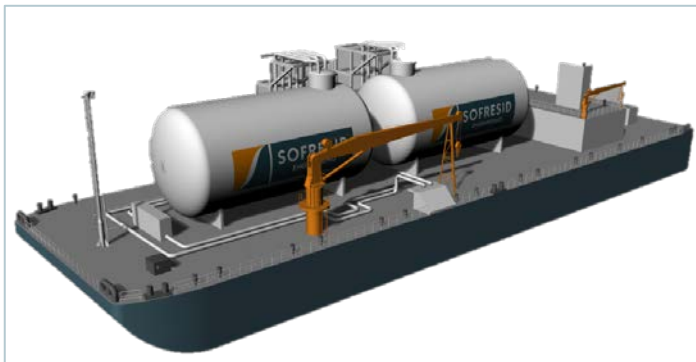


Figura 5-18: Stoccaggio galleggiante di piccola taglia, esempio di progetto preliminare di una bettolina bunker

Questo tipo di unità è considerato e classificato come **bettolina**, perché priva di motrice,

- eliminando ogni complessità legata alla presenza di motori, appendici e sistemi annessi.
- Gli alloggi per l'equipaggio non sono più necessari.
- I costi di manutenzione sono ridotti.
- I costi dell'equipaggio sono ridotti, perché serve meno personale e meno qualificato.
- Il costo iniziale è ridotto.

Estremamente semplici da progettare, queste unità si possono distribuire molto rapidamente e comportano un indebitamento bassissimo.

Su una bettolina o banchina per GNL è possibile anche lo stoccaggio temporaneo dei container ISO.

**Unità semovente.** Non è altro che una nave bunker (v. la sezione 5.2.1). Questa tipologia consente all'operatore di prelevare elevate quantità di GNL dai porti grandi per poi trasferirle in vari luoghi.

Questo genere di nave richiede un investimento significativo e l'impegno in termini di volume/durata di diversi investitori. I negoziati possono essere complessi per ottimizzare un finanziamento.



*Figura 5-19: Foto della nave bunker ENGIE Zeebrugge*

In tutte le varianti appena descritte, l'unità galleggiante non sarà disponibile per altre distribuzioni nel momento in cui è impegnata nelle operazioni di bunkeraggio.

**Unità galleggiante ancorata.** Si tratta di una variante della bettolina, con la differenza che è sempre ancorata in porto o al largo. In questo caso si parla di unità galleggiante di stoccaggio (FSU). Anche se concepibile in piccola taglia, questa unità è adottata per capacità di stoccaggio superiori a 5.000 m<sup>3</sup> e, pertanto, rientra nella categoria di impianti di grande taglia (vedere sotto per maggiori informazioni sulle unità FSU di grande taglia).

### 5.5.2 Impianti di grande taglia con capacità superiori a 15.000 m<sup>3</sup>

Gli impianti di grande taglia offrono una notevole autonomia e sono destinati al consumo a livello locale.

■ **Stoccaggio a terra:** il deposito viene per lo più utilizzato per capacità di stoccaggio superiori a 15.000 m<sup>3</sup> e, più in generale, sui 150.000 m<sup>3</sup>. Questo impianto ha un'impronta di suolo notevole in quanto, oltre al serbatoio, richiede sistemi di ritenzione per eventuali perdite e un'unità di reliquefazione dei vapori. Il terminale GNL di Tornio, in Finlandia, occupa 12.000 m<sup>2</sup> per una chiatta di 50.000 m<sup>3</sup>.

Una struttura di questo tipo è **classificata come impianto ICPE** e richiede, oltre agli studi dei rischi e al relativo piano di prevenzione, specifiche procedure amministrative e indagini pubbliche che possono rivelarsi lunghe e incerte. Nel caso del porto di Tolone, l'integrazione di tale impianto potrebbe essere effettuata in un'area in cui esistono già piani di prevenzione. Occorrerà tener conto dell'effetto domino che potrebbe avere sugli impianti esistenti.

■ **L'unità di stoccaggio galleggiante o FSU** è un impianto abbastanza semplice, la cui funzione principale è quella di immagazzinare grandi volumi di GNL ed essere dotata di mezzi di trasferimento. L'unità FSU è ancorata in modo permanente, quindi occupa poco spazio o nulla e può essere trasferita altrove una volta terminato il periodo contrattuale.

Può essere collocata a una distanza adeguata dagli effetti di un eventuale incidente, che altrimenti non è possibile per un impianto in pieno centro. Viceversa, i trasferimenti dipendono molto dalle condizioni meteorologiche, così come l'accesso a determinate navi o bettoline.



Figura 5-20: Unità galleggiante ancorata - FSU

Un'unità FSU, se dotata di un sistema di reliquefazione, può contenere il carico fino a 3 mesi circa. In tal caso, il fabbisogno di stoccaggio deve essere legato a un consumo locale annuale pari ad almeno quattro volte il volume di carico per un periodo di attività abbastanza lungo, almeno 15 anni, per giustificare l'investimento.

L'installazione di un'unità FSU nel porto è poco probabile a causa dei possibili rischi e deve essere avvalorata con uno studio dettagliato. Dovrebbe essere accessibile alle navi bunker che non possono andare in alto mare.

## 5.6 Analisi

In virtù della loro vicinanza e dei collegamenti presenti, tanto via terra che via mare, le fonti di approvvigionamento da preferire sono i depositi di Fos Tonkin e Fos Cavaou.

Gli itinerari tramite la rete stradale e ferroviaria sono tecnicamente fattibili. Per volumi di 1.000 m<sup>3</sup> sono necessarie 20 autobotti, che possono transitare sulla rete stradale.

I container ISO possono essere trasportati su treno dal terminale di FOS Tonkin a Brégaillon utilizzando le piattaforme multimodali già presenti nella regione. Tuttavia, poiché la domanda di GNL per i traghetti è prevalentemente al terminale TCA, occorre aggiungere un anello alla catena logistica dei trasporti per portare il GNL da Brégaillon verso TCA (v. capitolo 6.1) e aumentare la movimentazione.

Il percorso via gasdotto non è fattibile a causa dei rischi nell'area urbana e della distanza dal punto di rifornimento principale. In effetti, l'unico posto disponibile per un'unità di liquefazione è Brégaillon, ma si trova lontano dal luogo di domanda principale dei traghetti a TCA.

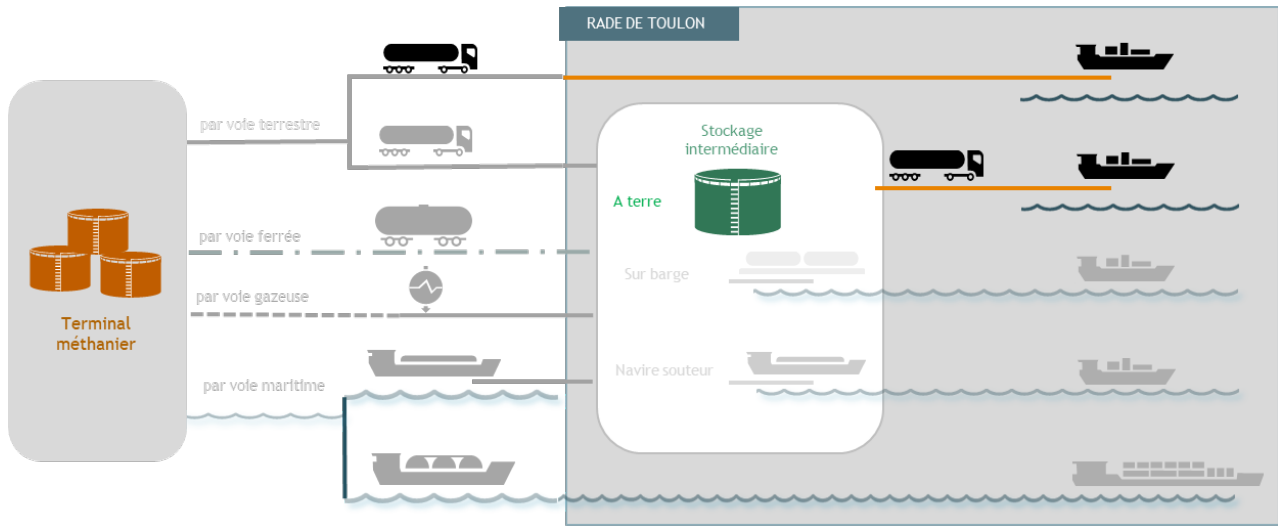
Il percorso via mare da FOS è un'alternativa adeguata e complementare ai bunkeraggi che si non possono effettuare con autobotti. Questa soluzione consente di adattarsi facilmente a un aumento della domanda di GNL nella rada di TOLONE aumentando la frequenza di viaggio delle navi bunker da FOS.

## 6 TRASPORTI NELLA RADA

### 6.1 Su gomma

#### 6.1.1 Architettura

Il trasporto di GNL su gomma fino alla nave da rifornire nella rada di Tolone può essere effettuato sia direttamente dal terminale di approvvigionamento che da un deposito di stoccaggio intermedio.



*Figura 6-1: Schema del trasporto su gomma nella rada*

La quantità massima totale di GNL che si può ragionevolmente trasportare a mezzo autobotte fino a bordo di una nave è di 500 m<sup>3</sup>. Per ridurre i tempi di bunkeraggio, è possibile collegare più autobotti contemporaneamente, fino a un massimo di 4 mezzi. Questo potrebbe essere il volume massimo di GNL da considerare per i traghetti, a condizione che la frequenza di rifornimento sia aumentata.



### 6.1.2 Volume e mappa dei bunkeraggi

Nel 2019, il bunkeraggio a mezzo autobotte ha riguardato principalmente le navi IFREMER e una nave posacavi, come illustrato nella Figure 6-2:

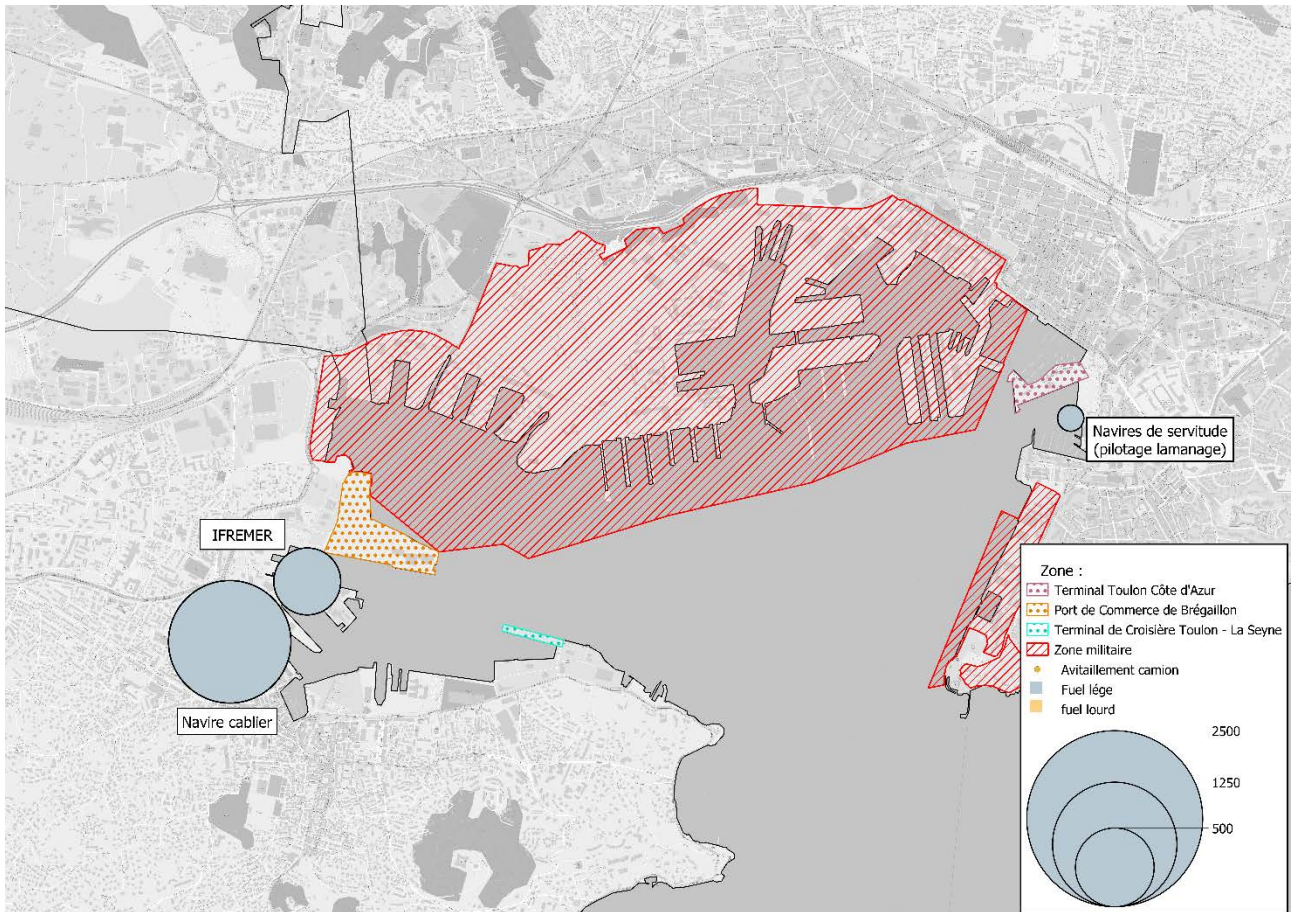


Figura 6-2: Bunkeraggio a mezzo autobotte nel 2019

### 6.1.3 Infrastrutture e approvvigionamento

Come spiegato nel paragrafo 5.1, le autobotti caricano presso uno dei terminali metaniferi di FOS.

Le autobotti utilizzate per il bunkeraggio diretto sulle navi sono dotate di serie di un sistema di pompaggio che consente di svuotare una cisterna o un container ISO con un flusso dell'ordine di  $60 \text{ m}^3/\text{h}$ , vale a dire un'operazione che dura poco più di un'ora (40 minuti per svuotare l'autobotte + 20 minuti di manovra, collegamento manichette, ecc.).

Il bunkeraggio viene effettuato collegando direttamente la manichetta flessibile di travaso dell'autobotte alla nave da rifornire. Il volume da bunkerare è generalmente maggiore della capacità di un'autobotte. Pertanto, in base ai vincoli di tempo e disponibilità della banchina, o le autobotti si susseguono o c'è uno skid per scaricare più autobotti contemporaneamente e raggiungere così il volume desiderato.



*Figura 6-3: Rifornimento a GNL di una nave di linea, maggio 2016*



*Figura 6-4: Evoluzione dei sistemi di bunkeraggio in modalità TTS*

Le soluzioni modulari consentono di collegare da 2 a 6 autobotti. In questo modo è possibile aumentare il flusso di transazione a  $240 \text{ m}^3/\text{h}$  e, quindi, il volume trasferito in un determinato intervallo di tempo. Il modulo può essere fisso sulla banchina o mobile a seconda delle esigenze.

Tuttavia, oltre a 4 autobotti ( $200 \text{ m}^3$ ), il numero di persone richieste nell'area diventa eccessivo insieme al vapore gassoso generato.

I container ISO hanno il vantaggio di poter essere stoccati, eventualmente al porto di Brégaillon, per poi essere trasportati su gomma fino al punto di consegna del GNL.

In alternativa, i container ISO possono essere collocati a bordo delle navi e collegati direttamente al sistema di alimentazione di carburante. È così che è stato progettato il traghetto HONFLEUR di Brittany Ferries (v. Figure 6-5).

Il traghetto è dotato nello specifico di una gru che consente di issare a bordo i container ISO di GNL e quindi di alimentare il serbatoio fisso principale. Due volte a settimana, fuori dalle aree passeggeri, vengono caricati a bordo due container ISO pieni per sostituire quelli vuoti. L'intera operazione deve essere effettuata in meno di 15 minuti.

## LA LIVRAISON DU GNL À BORD DU HONFLEUR

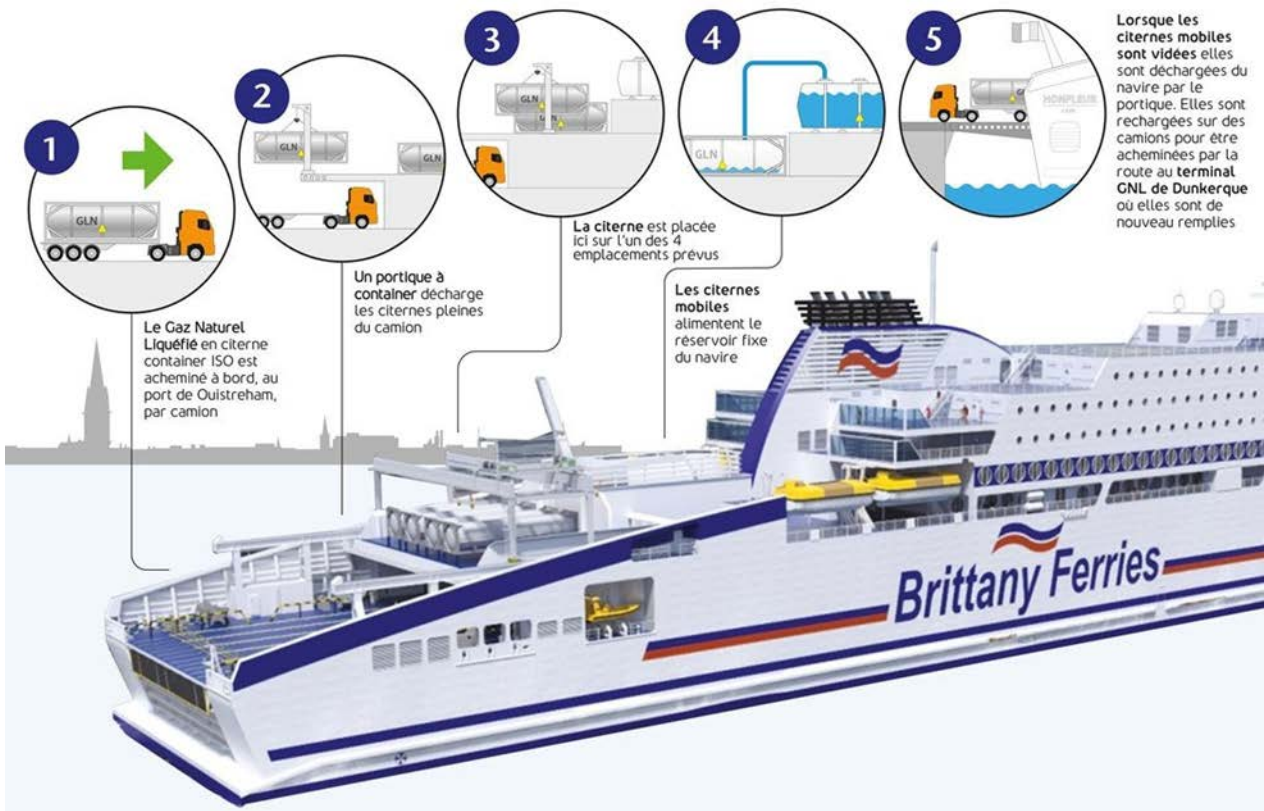


Figura 6-5: Panoramica della consegna di GNL a bordo del traghetti Honfleur

L'adozione di questa soluzione nella rada di TOLONE, considerando un massimo di 2 container ISO imbarcati a ogni bunkeraggio, richiede:

- Durante il picco estivo, 3 rifornimenti di 2 container ISO al giorno per ogni traghetti.
- Durante i periodi morti con un solo traghetti in funzione, il rifornimento di 1 container ISO circa ogni due giorni.

### 6.1.4 Limitazioni

I limiti di volumi movimentati è l'elemento chiave per la filiera su gomma. Per quanto riguarda il volume massimo di bunkeraggio fattibile per autobotte (massimo tra 500 e 700 m<sup>3</sup>), i pareri sono discordanti. Ai fini della presente analisi, la quantità massima di bunkeraggio per autobotte è 500 m<sup>3</sup>. È leggermente inferiore in caso di trasporto con container ISO.

Inoltre, la sosta delle autobotti per le operazioni di rifornimento di GNL non è fattibile sulle banchine del porto di TCA, perché comporta traffico intenso, chiusura di una via durante il bunkeraggio, divieto di accesso ai camion sulle banchine dell'area del porto.

Le altre banchine commerciali, Brégaillon e Mole Armement a La Seyne-sur-Mer, sono accessibili ai camion. L'adozione di una soluzione del genere in queste aree deve essere ancora studiata perché lo spazio disponibile sulle banchine è limitato.

### 6.1.5 Sviluppi logistici possibili

#### 6.1.5.1 Bunkeraggio diretto a mezzo autobotte



In un primo momento, l'approvvigionamento del porto potrebbe avvenire tramite autobotti per rifornire il primo traghetto a GNL, al porto di Brégaillon o Mole Armement di La Seyne-sur-Mer, purché il bunkeraggio sia effettuato con una maggiore frequenza. Tuttavia, il rifornimento dei traghetti rappresenta 1/10 delle operazioni e il trasporto su gomma non è fattibile per il rifornimento nel porto di TCA.

#### 6.1.5.2 Stoccaggio intermedio

Per garantire l'autonomia e la disponibilità di GNL, si potrebbe prendere in considerazione lo stoccaggio intermedio.



Come descritto nel paragrafo 5.5.1, si può realizzare con un deposito di piccola taglia o con container ISO impilati. Data la scarsa quantità di GNL rifornito al di fuori del porto di TCA, l'installazione di un impianto di stoccaggio intermedio sostenibile non è interessante.

Un'altra soluzione per evitare gli spostamenti di camion sulla banchina quando sono in corso altre operazioni è lo stoccaggio intermedio dedicato (v. Figure 5-16). Questo tipo di impianto è interessante sul piano logistico nel porto di TCA per via della presenza dei consumatori finali. Tuttavia, la collocazione non è affatto favorevole, a causa della mancanza di spazio sulla banchina e dei vincoli di sicurezza di un tale impianto in centro città. Questa soluzione pertanto non verrà studiata.

Lo stoccaggio intermedio di grande taglia comporta volumi di scambio molto elevati. Pertanto non sarà oggetto di studio.

### 6.1.6 Analisi critica

Il bunkeraggio a mezzo autobotte potrebbe essere il primo passo per via della sua flessibilità e dei bassi investimenti finanziari.

Si può utilizzare per il rifornimento di un traghetto a Brégaillon o Mole Armement di La Seyne-sur-Mer. Tuttavia si tratta di una piccola percentuale di rifornimenti dei traghetti. La maggior parte dei rifornimenti di GNL viene effettuata al porto di TCA, dove questa soluzione non è fattibile.

C'è un altro segmento di mercato che può essere rifornito con GNL tramite autobotte: le piccole navi di servizio, le navi posacavi e quelle da ricerca. Però queste navi dovrebbero passare al GNL, il che sembra poco probabile nei prossimi dieci anni. Pertanto non verrà trattato in questa sede.

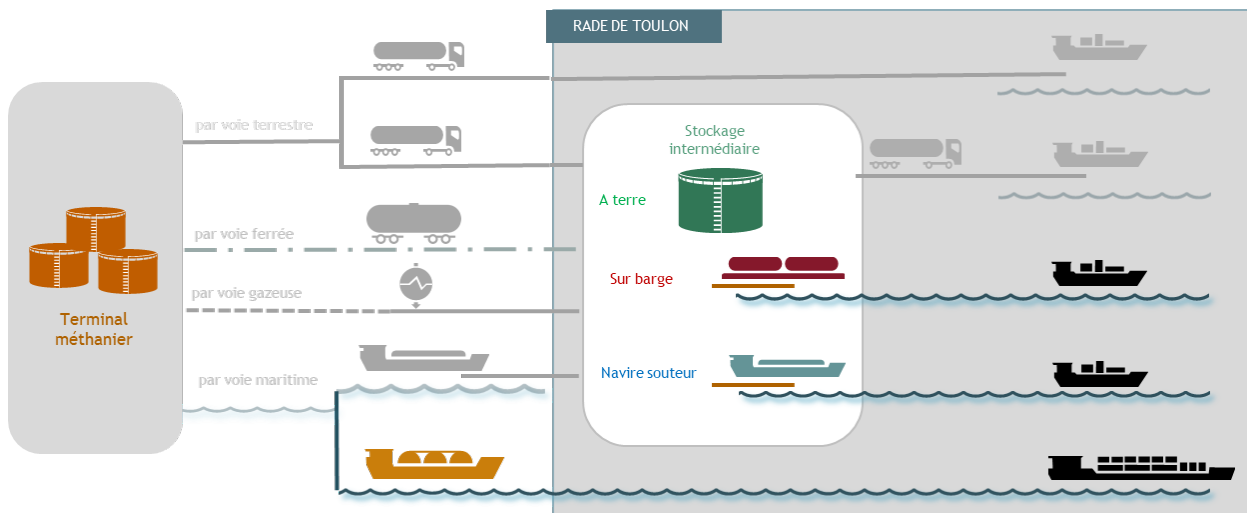
Per i volumi inferiori a 1.000 m<sup>3</sup>, lo stoccaggio intermedio non è conveniente. L'installazione di un impianto di stoccaggio intermedio dedicato ai traghetti a TCA non è fattibile per motivi di sicurezza nell'area urbana e di spazio disponibile.

L'uso dei container ISO offre prospettive limitate. Consente di creare uno stoccaggio intermedio, che sarebbe al massimo disponibile nel porto di Brégaillon, fatto salvo uno studio dei rischi. Poiché i volumi totali coperti

sono modesti, i container ISO possono rifornire le piccole navi nelle vicinanze, ma difficilmente possono soddisfare la domanda dei traghetti.

## 6.2 Via mare

### 6.2.1 Architettura



*Figura 6-6: Schema del trasporto via mare nella rada*

Il vantaggio delle navi bunker è che possono operare dove non arrivano le autobotti e rifornire le navi con una stiva superiore a 500 m<sup>3</sup>. Inoltre lasciano libera la banchina per le operazioni commerciali, come i trasferimenti di passeggeri o merci.

Anche se la redditività di una nave bunker si basa sulla frequenza delle operazioni, con la sua capacità di stoccaggio relativa, può essere utilizzata anche come deposito di stoccaggio intermedio locale. Se attraccata, può consentire il rifornimento locale di autobotti.

### 6.2.2 Volume e mappa dei bunkeraggi

Come illustrato qui, nel 2019, i bunkeraggi via mare hanno riguardato solo i traghetti e principalmente il terminal di Tolone Costa Azzurra (TCA):

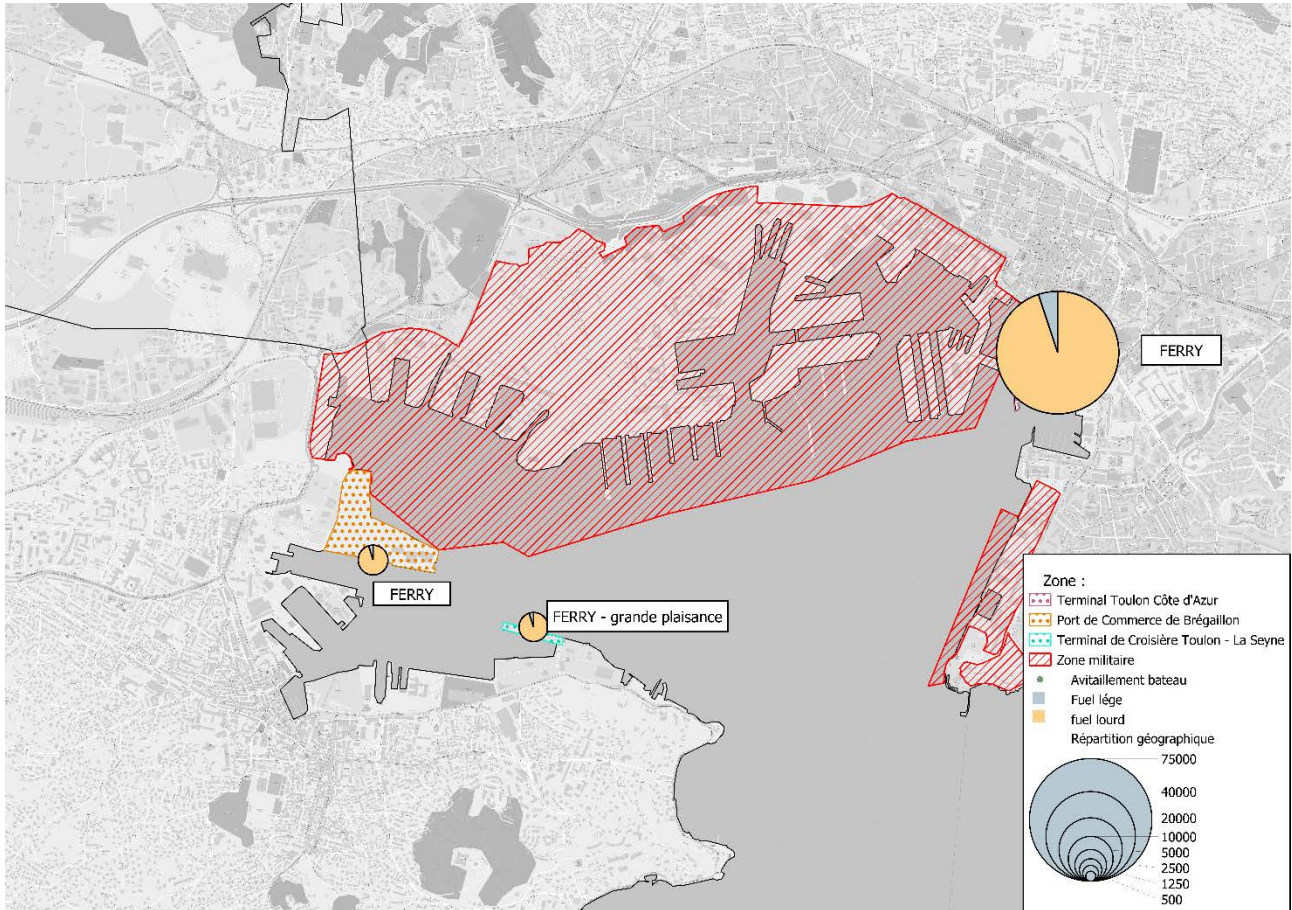


Figura 6-7: Bunkeraggio a mezzo nave nel 2019

### 6.2.3 Infrastrutture e approvvigionamento

Ci sono 2 tipi di bunker:



la **nave bunker**, con propulsione propria

la **bettolina per bunkeraggio**

- La **nave bunker** è dotata di propulsione autonoma. Dopo aver riempito i serbatoi in un terminale GNL, andrà ad affiancarsi alle navi per rifornirle. Ulteriori dettagli sono stati già forniti nel capitolo 5.2.
- La **bettolina per bunkeraggio non propulsa** non ha un equipaggio sempre operativo. Richiede uno spintore o rimorchiatore per essere spostata. Pertanto comporta un investimento ridotto.



*Figura 6-8: Bettolina di trasferimento dotata di serbatoio di tipo C*

La bettolina può essere utilizzata per trasportare container ISO alle navi da rifornire o essere dotata di serbatoi. Si può utilizzare anche per lo stoccaggio intermedio.

- La bettolina per bunkeraggio semovente rimane destinata all'uso fluviale ma essendo dotata di propulsione offre autonomia di movimento. Lo svantaggio è che richiede un equipaggio.

La LNG London è una bettolina semovente di 3.000 m<sup>3</sup> destinata alla navigazione interna e beneficia di una deroga eccezionale per la navigazione marittima.



*Figura 6-9: Bettolina London LNG*

#### 6.2.4 Limitazioni

La soluzione della bettolina non viene presa in considerazione per la rada di TOLONE per i seguenti motivi principali:

- la sosta temporanea o permanente di una bettolina non è assicurata nella rada a causa della mancanza di banchine disponibili;
- il trasporto tramite bettolina di container ISO da Brégaillon pone problemi di logistica, movimentazione e tempi di trasporto.

La filiera delle navi bunker è strutturata in modo diverso da quella dei trasporti su gomma e il criterio principale è dato dal volume da rifornire per determinare la taglia del bunker.

Le dimensioni delle navi bunker si basano su un criterio tecnico: ovvero riempire le stive al massimo ogni quattro settimane per evitare il rischio di deterioramento del GNL nel tempo.

## 6.2.5 Sviluppi logistici possibili

### 6.2.5.1 *Sviluppo iniziale*

La nave bunker sarà necessaria in caso di bunkeraggio di oltre 500 m<sup>3</sup>. A tal fine, si potrebbe condividere una nave nell'area di Maritimo per effettuare bunkeraggi occasionali a Tolone.

### 6.2.5.2 *Nave bunker locale*

Una nave bunker locale diventa necessaria nel momento in cui il volume annuo di GNL supera i 100.000 m<sup>3</sup>.

Nei prossimi dieci anni non sono previste navi bunker locali dedicate alla rada di TOLONE perché il volume di GNL rifornito a TOLONE dovrebbe rimanere inferiore a 45.000 m<sup>3</sup> l'anno.

### 6.2.5.3 *Stoccaggio intermedio*

Lo stoccaggio intermedio non è necessario per la filiera di bunkeraggio in quanto i volumi disponibili sono sufficienti per rispondere alla domanda. Verrebbe utilizzato il tempo necessario per effettuare i rifornimenti per poi tornare a uno dei terminali di FOS per l'approvvigionamento.

## 6.2.6 Analisi critica

Si può adottare il rifornimento in mare. Infatti è la modalità preferita per Tolone in quanto quella più idonea per rifornire i traghetti nella rada.

Il volume annuo da rifornire sarà il criterio per giustificare l'investimento in una nave bunker locale o in una condivisa con altri attori della regione.



# 7 SVILUPPO DELL'APPROVVIGIONAMENTO DI GNL

## 7.1 Evoluzione del mercato globale

Esistono vari studi sull'evoluzione del mercato del GNL. La maggior parte dei report prevede una crescita del GNL come combustibile marino, ma ciascuno con gradi di evoluzione diversi. L'affidabilità di questi studi è difficile da utilizzare come riferimento per una visione che vada oltre 20 anni.

La Figure 7-1 presenta il quadro prospettato nel 2019 da DNV GL (cfr. [35]), ente noto per la sua serietà e imparzialità nel settore marittimo.

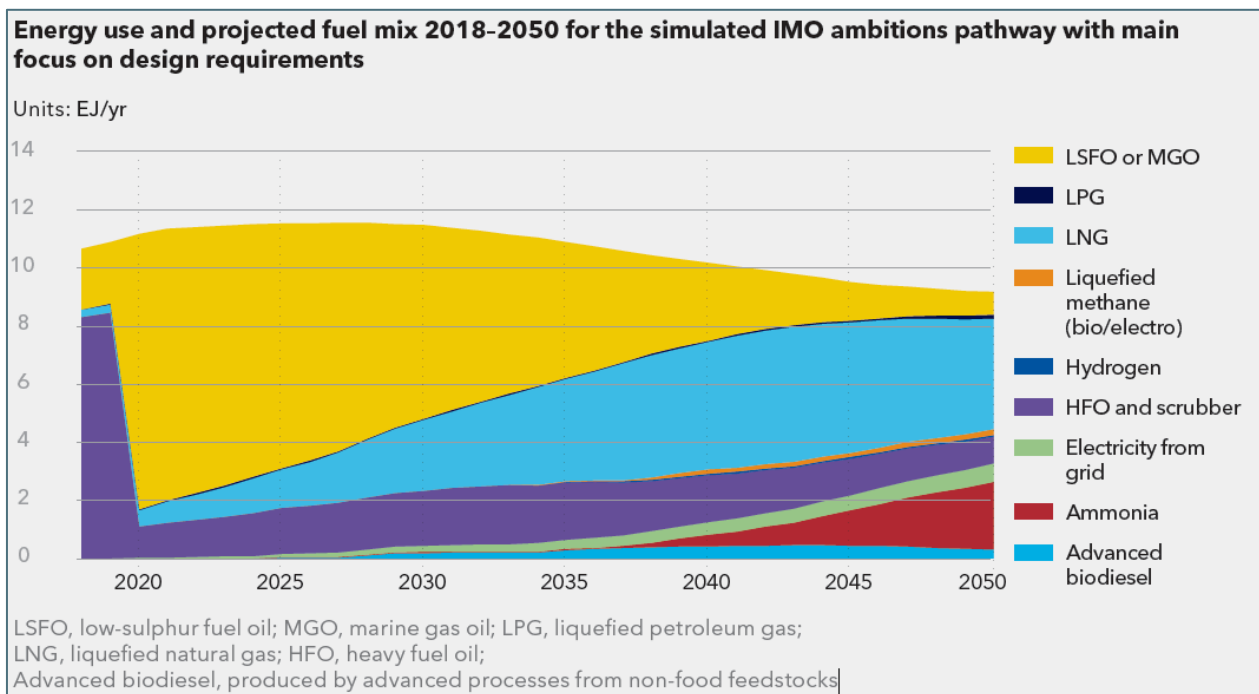


Figura 7-1: Previsioni sull'uso del GNL come combustibile nel settore marittimo

Come sottolineato da DNV GL, questa crescita è strettamente legata ai costi dell'energia, all'evoluzione tecnologica in futuro e ai cambiamenti normativi.

La proiezione del mix energetico fino al 2040 è considerata alquanto affidabile perché si basa sulle decisioni prese attualmente. Inoltre, DNV GL stima che la percentuale di GNL nel 2050 potrà variare dal 40% all'80% nel mix energetico globale, molto dipenderà dalla diffusione dell'ammoniaca come fonte di energia alternativa.

L'altra ipotesi avanzata da DNV GL è un calo continuo dei combustibili convenzionali (LSFO, MGO e HFO) a favore delle energie alternative.

Questa curva (Figure 7-1) mostra che dal 2020 al 2030 i combustibili convenzionali verranno sostituiti dal GNL fino a un valore del **21,4%**.

Anno	LNG (pessimista - ottimista)
2020	5,02
2025	11,5%
<b>2030</b>	<b>21,4%</b>

Tabella 7-1: Quota di GNL nel consumo globale di combustibili marini

Questa curva (Figure 7-1), spiegata nella tabella 7-1, mostra che dal 2020 al 2030 i combustibili convenzionali verranno sostituiti dal GNL fino a un valore del **21,4%**.

L'ultimo report di DNV GL del 2020 non contraddice i dati del report 2019 per il decennio 2020-2030 e prevede nel 2030 una quota media di GNL del **25%** della flotta mondiale.

Sempre secondo il report di DNV GL, le navi a GNL saranno distribuite come segue:

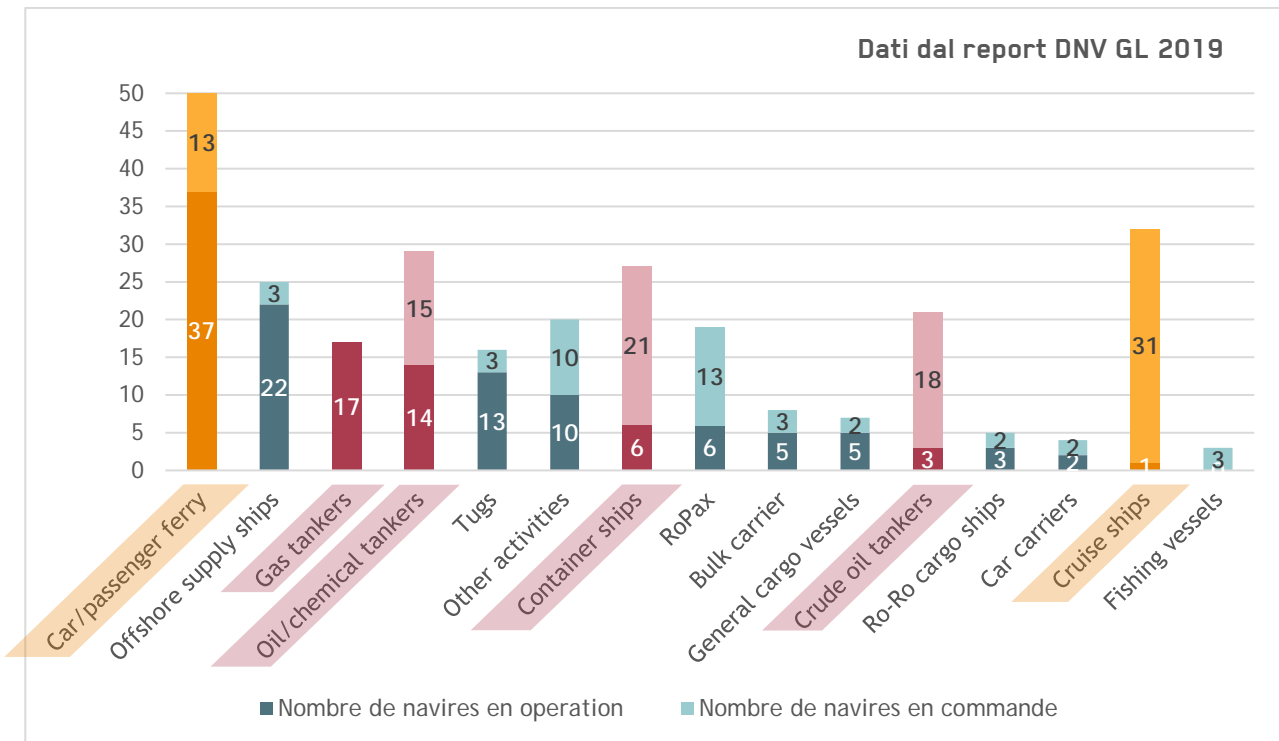


Figura 7-2: Numero totale e tipo di navi alimentate a GNL

Il mercato con la domanda maggiore è quello dei traghetti e delle navi da crociera, in parte dovuto all'impatto del grande pubblico. Nei prossimi dieci anni non sono previsti rifornimenti di GNL per le navi da crociera presso il porto di TOLONE. Tuttavia, data l'attuale proporzione dei bunkeraggi per questo segmento (v. Figure 6-7 Figure 6-7 : Soutage par bateau en 2019), è possibile una crescita per la rada di TOLONE. Questo segmento riguarda i bunkeraggi sotto i 1.000 m<sup>3</sup> per tragheto. Attualmente sono in servizio nel porto di TOLONE 8 traghetti. Secondo lo studio di DNV GL, dal 21 al 25% di queste navi passeranno al GNL nel 2030. Pertanto, si ritiene che entro i prossimi dieci anni saranno alimentati a GNL al massimo 2 traghetti.

Il secondo segmento di mercato interessato è quello delle navi portacontainer e chimichiere/portacisterne. Questo mercato riguarda i bunkeraggi per navi di oltre 3.000 m<sup>3</sup>, ma non interessa la rada di TOLONE.

Un altro segmento di navi che si convertiranno al GNL è quello delle ro-ro e ro-pax. Pur facendo scalo a Tolone, queste navi hanno una frequenza molto irregolare e si riforniscono in altri porti.

A seguire nel presente studio, sulla base di tali proiezioni, si terrà conto che:

- nel 2025: 1 traghetto passerà al GNL (secondo i report [3] e [4] questo traguardo verrà invece raggiunto nel 2030);
- nel 2030: 2 traghetti passeranno al GNL.

## 7.2 Evoluzione del GNL nella rada di TOLONE

### 7.2.1 Mercato interno

Non tutti i bunkeraggi nel porto di TOLONE vedranno una conversione delle navi al GNL.

Ad esempio, le navi posacavi, quelle da ricerca e le navi di servizio non passeranno al GNL nei prossimi dieci anni.

Si presume che i bunkeraggi per i generatori ausiliari di emergenza saranno sempre in MGO.

A Tolone, nel 2030, il consumo previsto corrisponde a 2 traghetti alimentati a GNL che rappresentano  $82.551 \times 0,25 \times 2 = 41.275 \text{ m}^3$  all'anno, che arrotondati diventano  $41.300 \text{ m}^3$ .

Il rifornimento di GNL sarà in media di  $1.250 \text{ m}^3$  ogni 11 giorni, ovvero  $115 \text{ m}^3$  al giorno (per due traghetti).

Tuttavia, questa domanda non è costante nel corso dell'anno e occorre tenere presente quanto segue:

- Picco di domanda in estate, circa  $2.000 \text{ m}^3$  da fornire ogni 4 giorni, ovvero  $500 \text{ m}^3$  al giorno considerando 2 traghetti.
- Periodi morti con un solo traghetto in servizio e una domanda media al giorno di circa  $60 \text{ m}^3$ , se non di  $25 \text{ m}^3$  al giorno quando la domanda è al minimo.

#### Evoluzione di questa proiezione a 10 anni

Considerando che il 90% dei traghetti verrà rifornito al terminal passeggeri di TCA e che il restante 10% sarà equamente distribuito tra Brégaillon e La Seyne-sur-Mer, si può prevedere la seguente proiezione per l'evoluzione dei consumi dal 2020 al 2030:

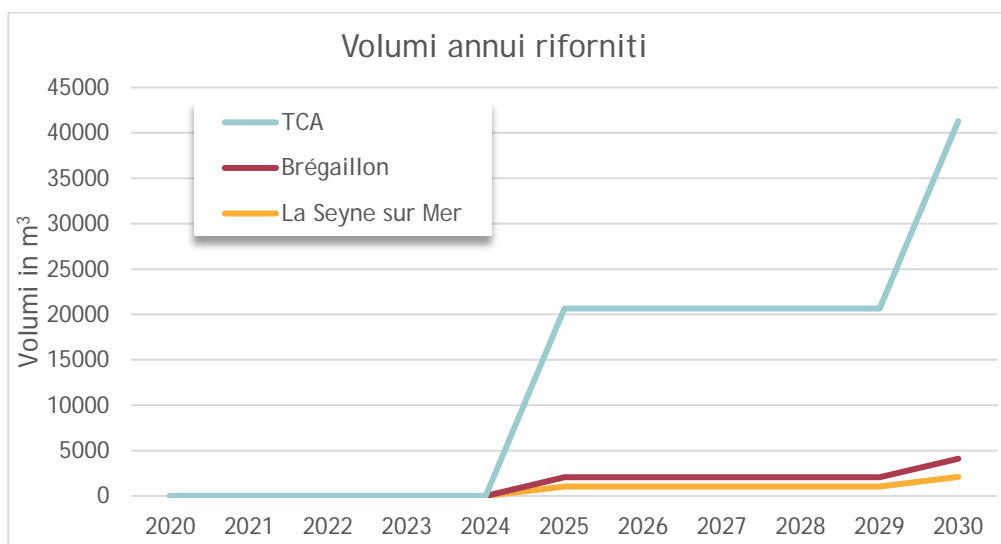


Figura 7-3: Evoluzione annuale della domanda di GNL in 10 anni

Il rifornimento a Brégaillon e La Seyne-sur-Mer può essere effettuato tramite autobotti.

Il rifornimento a TCA, in particolare durante il picco di domanda estivo, avviene tramite navi bunker, per rispettare l'obbligo di accedere tramite lo specchio d'acqua del porto per effettuare il bunkeraggio.

### 7.2.2 Mercato esterno

Per gli usi diversi dal combustibile marino a Tolone, è possibile un aumento del volume di scambio di GNL a Tolone, influenzando sulle modalità di approvvigionamento.

#### 7.2.2.1 Carburante

##### Combustibile marino

Al di là della rada di TOLONE e del settore marittimo, non è stato individuato un mercato esterno (nessun mercato per le navi fluviali né per i pescherecci).

##### NGV

Il gas naturale come combustibile per i veicoli (in particolare i mezzi pesanti) potrebbe costituire un potenziale sbocco industriale. Ma resta marginale.

##### Combustibile ferroviario

Il gas naturale come combustibile ferroviario non è considerato probabile.

#### 7.2.2.2 Fornitura di elettricità dalle banchine

Tale uso corrisponde al collegamento delle navi alla banchina per fornire energia elettrica e consentire di spegnere i motori e quindi ridurre le emissioni inquinanti quando sono in porto.

Sulle banchine del terminal TCA è in corso la costruzione di un impianto, collegato alla rete terrestre, per l'alimentazione elettrica dei traghetti.

Un altro uso può derivare dall'alimentazione delle navi da crociera. Con un totale di 40 scali con un tempo di permanenza medio di 12 ore e un consumo elettrico stimato di 5 MW, il fabbisogno annuo di GNL sarebbe di 840 m<sup>3</sup> (circa 420 t all'anno). Resta comunque marginale rispetto al fabbisogno dei traghetti.



*Figura 7-4: Esempio di bettolina per la fornitura di energia elettrica alle navi attraccate*

### 7.2.2.3 *Industrie*

Solo i siti industriali che non possono collegarsi alla rete di distribuzione del gas probabilmente passeranno al GNL. Questi siti si trovano per lo più nei dipartimenti di Alpes Maritimes (06) e Alpes de Haute Provence (04). Un sito industriale acquisterebbe in media circa 25 cisterne di GNL all'anno, ovvero circa 1.000 m<sup>3</sup> (500 t all'anno). Lo scenario peggiore è che tale utilizzo non interessi alcun sito industriale della regione.

### 7.2.2.4 *Uso domestico*

Esistono casi di utilizzo domestico del GNL in aree lontane dalla rete nazionale di distribuzione del gas naturale. Questi riguardano soprattutto i dipartimenti di Alpes Maritimes (06) e Alpes de Haute Provence (04). Il fabbisogno annuale per un piccolo comune è di circa 200 m<sup>3</sup> di GNL (100 t all'anno).

Lo scenario peggiore è che tale utilizzo non interessi alcun comune della regione.

- **Conclusione:** la domanda esterna al settore dei traghetti ha un potenziale di sviluppo limitato.

## 8 RACCOMANDAZIONI

■ **La domanda di GNL** per il porto di Tolone **sarà probabilmente legata all'adozione di questo combustibile alternativo nei traghetti**. Nell'arco di 10 anni, secondo lo scenario pessimistico nessuna nave si convertirà al GNL, mentre nello scenario più ottimistico 2 navi potrebbero essere alimentate a GNL.

Il porto di TCA continuerà a concentrare il 90% dei bunkeraggi nei casi in cui, dato lo spazio di ormeggio ridotto, **si richiederà l'uso di un sistema di rifornimento in acqua** con nave bunker.

Il volume annuale nella rada di Tolone, anche nella previsione più ottimistica, non giustifica l'investimento di un bunker locale a Tolone. Lo schema più logico sarà di utilizzare una nave bunker che si approvvigionerà da Fos e sarà condivisa con la regione meridionale fino ad arrivare ai porti italiani.

Il volume necessario per ogni bunkeraggio, circa 1.000 m<sup>3</sup>, richiederà l'utilizzo di una nave bunker con una capacità di almeno 3.000 m<sup>3</sup>.

Il trasporto via mare può essere completato **via terra nei siti di Brégaillon e La Seyne-sur-Mer**, in particolare durante la bassa stagione. In questo periodo, la domanda di carburante è meno sostenuta, con un rifornimento di volumi più piccoli. Questa modalità di bunkeraggio è consigliabile per le prime operazioni per attrarre altri utilizzatori in futuro. Inoltre offre una maggiore flessibilità, dal momento che il rifornimento su gomma può essere effettuato in tempi rapidissimi. Invece le navi bunker, essendo condivise con altri soggetti, richiedono tempi di rifornimento con diversi giorni di anticipo.

In questo caso, la filiera del GNL per uso marittimo è fortemente legata ai traghetti. Le scelte della compagnia operativa saranno determinanti per i tempi e la logistica di approvvigionamento. L'esempio della compagnia Brittany Ferries con la nave HONFLEUR, alimentata tramite container ISO (Figure 6-5), dimostra che la catena logistica dipende anche dalla scelta tecnologica delle navi.

■ **Gli investimenti** nelle due modalità di approvvigionamento, su gomma o via mare, sono molto diversi.

Per il **settore su gomma**, il prezzo della materia trasportata comprende il costo del personale più i costi di utilizzo dell'autobotte (carburante + pedaggio + ammortamento). Per un viaggio diretto dal terminale di FOS, il costo del trasporto si aggira sui **600 euro** a autobotte. La stipula di contratti a lungo termine con gli operatori e il trasporto combinato strada-rotaia contribuiranno a ottimizzare i suddetti costi.

Per la **filiera con navi bunker** servirà una nave in grado di operare in alto mare da un terminale metanifero. Il mercato è abbastanza chiuso sul costo di questi mezzi. **Una nave bunker da 3.000 m<sup>3</sup> costerebbe 40 milioni di euro**, secondo le stime realizzate da Sofresid a questo proposito. I costi operativi variano molto da un operatore all'altro e dipendono in particolar modo dalla velocità di carico della nave. In altre parole, dipendono dall'uso condiviso con gli altri soggetti della regione meridionale e in Italia.

Per l'area di Tolone, gli **investimenti in infrastrutture saranno marginali** in quanto la filiera non richiede nuovi impianti.

La **promozione dell'uso del GNL** nel porto di Tolone rimane un elemento essenziale di cui il territorio è parte interessata. Innanzitutto, occorre integrare il rifornimento di GNL nel regolamento portuale locale. Così facendo si potrà effettuare un primo rifornimento di GNL nella rada, a scopo di test, nonché per dimostrare l'idoneità del porto per questo tipo di operazioni.

## 9 STUDI E RIFERIMENTI NORMATIVI CITATI

- [1] EMSA. (2018) Guidance on LNG Bunkering to Port Authorities and Administrations.
- [2] Direction Générale de la Prévention des Risques. (2014) Note relative à la réglementation applicable aux installations pour l’avitaillement des navires en GNL.
- [3] Livrable T 3.5.1 - Définition du modèle de réseau de distribution GNL
- [4] Livrable T 3.2.1 - Phase I - Schéma du réseau de distribution et de transport du GNL sur le territoire
- [5] Livrable T 3.2.2 - Phase II - Analyse des caractéristiques territoriales d’accessibilité et celles liées au transport sur le territoire
- [6] Livrable T 3.2.3 - Phase III - Base de données d’applications GNL dans les territoires de la zone de coopération
- [7] EN1474-2 - Design and testing of marine transfer systems. Design and testing of transfer hoses (UNI EN 1474-2 Progettazione e prove delle attrezzature di trasferimento maritime. Progettazione e prove delle manichette di trasferimento)
- [8] EN1474-3 - Design and testing of marine transfer systems. Offshore transfer systems (UNI EN 1474-3 Progettazione e prove delle attrezzature di trasferimento maritime. Sistemi di trasferimento offshore)
- [9] EN13766 2010 - Thermoplastic multi-layer (nonvulcanized) hoses and hose assemblies for the transfer of liquid petroleum gas and liquefied natural gas - Specification (UNI EN 13766:2010 - Tubi flessibili e tubi flessibili raccordati multi-strato di materiale termoplastico (non vulcanizzato) per il trasferimento di gas di petrolio liquefatto e di gas naturale liquefatto - Specifiche)
- [10] ISO/TS 18683 - Guidelines for systems and installations for supply of LNG as fuel to ships
- [11] EN ISO 20519 - Specification for bunkering of liquefied natural gas fuel led vessels (UNI EN ISO 20519 - Specifica per il rifornimento di navi alimentate a gas naturale liquefatto)
- [12] ISO/TS 17177 - Guidelines for the marine interfaces of hybrid LNG terminals
- [13] ISO 17776 2016 - Petroleum and natural gas industries --Offshore production installations -- Major accident hazard management during the design of new installations
- [14] IACS rec 142 - LNG Bunkering Guidelines
- [15] Checklist IAPH - Checklist per: Truck-to-Ship, Ship-to-Ship, Port-to-Ship
- [16] DNVGL-RP-G105 - Development and operation of liquefied natural gas bunkering facilities
- [17] EN 12065 - Testing of foam concentrates of extinguishing powders used on LNG fires (UNI EN 12065 - Prove degli emulsionanti per la produzione di schiuma a media ed alta espansione e di polveri per l’estinzione di incendi di gas naturale liquefatto)

- [18] EN 12066 - Testing of insulating linings for liquefied natural gas impounding areas (UNI EN 12066 - Prove sui rivestimenti isolanti dei bacini di contenimento di gas naturale liquefatto)
- [19] EN 12308 - Suitability testing of gaskets designed for flanged joints used on LNG piping (UNI EN 12308 - Prove di attitudine all'impiego delle guarnizioni per raccordi flangiati nelle tubazioni di GNL)
- [20] EN ISO 20088 - Determination of the resistance to cryogenic spillage of insulation materials (UNI EN 20088 - Determinazione della resistenza dei materiali isolanti ai trafiletti di sostanze criogeniche)
- [21] ISO 23251 2006 - Petroleum, petrochemical and natural gas industries -- Pressure-relieving and depressuring systems (UNI EN 23251:2007 - Industrie del petrolio, della petrolchimica e del gas naturale - Sistemi di depressurizzazione e di protezione contro le sovrappressioni)
- [22] IEC 60079-10-1 :2015 - Explosive atmospheres - Part 10-1: Classification of areas - Explosive gas atmospheres (CEI EN IEC 60079-10-1:2016 - Atmosfere esplosive - Parte 10-1: Classificazione dei luoghi - Atmosfere esplosive per la presenza di gas)
- [23] Codice IGF - International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels
- [24] Codice STCW - International convention on standards of training, certification and watch keeping for seafarers
- [25] ISO 18132-1:2014 - Refrigerated hydrocarbon and non-petroleum based liquefied gaseous fuels - General requirements for automatic tank gauges -- Part 1: Automatic tank gauges for liquefied natural gas on board marine carriers and floating storage
- [26] EN 1473 :2014 - Installation and equipment for liquefied natural gas - Design of onshore installations (UNI EN 1473:2016 - Installazioni ed equipaggiamenti per il gas naturale liquefatto (GNL) - Progettazione delle installazioni di terra)
- [27] EN 14620 :2006 - Design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flatbottomed steel tanks for the storage of refrigerated, liquefied gases with operating temperatures between 0°C and -165°C (UNI EN 14620:2006 - Progettazione e fabbricazione di serbatoi di acciaio verticali, cilindrici, a fondo piatto, costruiti in sito, per lo stoccaggio di gas liquefatti refrigerati operanti a temperature tra 0 °C e -165 °C)
- [28] ISO 17776 :2016 - Petroleum and natural gas industries -- Offshore production installations -- Major accident hazard management during the design of new installations
- [29] Codice IGC - International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk
- [30] ADN - European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland waterways (Accordo europeo sul trasporto internazionale di merci pericolose per via navigabile interna)
- [31] Solas - International convention for the Safety of Life at Sea (Convenzione internazionale per la salvaguardia della vita umana in mare)



- [32] ADR - European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (Accordo europeo relativo al trasporto internazionale di merci pericolose su strada); trattato delle Nazioni Unite del 1957 che disciplina il trasporto internazionale di merci pericolose.
- [33] MARPOL - International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (Convenzione internazionale per la prevenzione dell'inquinamento da navi)
- [34] SGMF - LNG Bunkering Guidelines - Safety Guidelines
- [35] DNV GL. (2019) Maritime Forecast to 2050 - Energy Transition Outlook 2019

## 10 ALLEGATO - Dati relativi al bunkeraggio nella rada di TOLONE

Il presente allegato raccoglie le informazioni fornite dalla capitaneria di porto, relative all'anno 2019.

La Tableau 10-1 elenca i bunkeraggi effettuati per i traghetti nel 2019.

Data	Nave da rifornimento	N. di navi rifornite	DML in tonnellate	Olio combustibile pesante in tonnellate	Olio combustibile pesante per nave in tonnellate
03/01/2019	CAP SICIE	4	185	2200	550
16/01/2019	CAP SICIE	4	185	2190	548
18/02/2019	CAP SICIE	4	185	2375	594
01/03/2019	CAP SICIE	4	185	1795	449
19/03/2019	CAP SICIE	4	185	2640	660
03/04/2019	CAP AIGUADES	4	185	2145	536
18/04/2019	CAP AIGUADES	4	0	2415	604
25/04/2019	CAP SICIE	5	185	2850	570
02/05/2019	CAP AIGUADES	4	125	1630	408
14/05/2019	CAP AIGUADES	5	185	2370	474
23/05/2019	CAP SICIE	6	185	2675	446
31/05/2019	CAP AIGUADES	6	185	2800	467
06/06/2019	CAP AIGUADES	6	185	2280	380
13/06/2019	CAP SICIE	6	102	2900	483
26/06/2019	CAP PINEDE	1	0	1060	1060
02/07/2019	CAP SICIE	6	163	2852	475
09/07/2019	CAP SICIE	6	130	2875	479
16/07/2019	TATIANA B	6	110	2900	483
23/07/2019	TATIANA B	6	90	2900	483
30/07/2019	TATIANA B	6	115	2900	483
06/08/2019	CAP AIGUADES	6	80	2900	483
11/08/2019	CAP AIGUADES	6	0	2244	374
15/08/2019	CAP AIGUADES	6	150	2900	483
21/08/2019	CAP AIGUADES	4	48	2700	675
27/08/2019	CAP SICIE	6	150	2900	483
03/09/2019	CAP AIGUADES	6	110	2900	483
10/09/2019	CAP AIGUADES	6	185	2900	483
18/09/2019	CAP AIGUADES	6	185	2760	460
26/09/2019	CAP AIGUADES	5	0	2420	484
05/10/2019	CAP AIGUADES	4	185	1970	493
17/10/2019	TATIANA B	5	185	2770	554
12/12/2019	CAP PINEDE	4	130	2385	596
18/12/2019	CAP SICIE	4	0	2050	513
<b>Totale</b>		<b>165</b>	<b>4278</b>	<b>82551</b>	

*Tabella 10-1: Quantità rifornite dalle petroliere provenienti da FOS*

Va notato che la frequenza di rifornimento dei traghetti nel corso dell'anno è in media di 11 giorni con una variazione di 4 giorni minimo intorno al 15 agosto e 56 giorni massimo a novembre. La quantità media unitaria stivata è di circa 500 tonnellate.

Per i traghetti è stato preso in considerazione solo l'olio combustibile pesante perché il combustibile marino leggero rappresenta in media solo il 5% circa dei bunkeraggi e in parte è destinato ai generatori ausiliari. Tutti i generatori ausiliari non verranno sostituiti in caso di passaggio al GNL.

Alcuni numeri rilevanti:

- Il **90% dei rifornimenti viene effettuato a TCA**: 74.250 tonnellate di olio combustibile pesante
- Il 10% dei rifornimenti viene effettuato a Brégaillon o a Mole Armement di La Seyne-sur-Mer (durante l'attracco): 8.250 tonnellate di olio combustibile pesante, di cui 4.250 tonnellate a Brégaillon e 4.000 tonnellate a Mole Armement, La Seyne-sur-Mer.

8 navi CORSICA FERRIES vengono di solito rifornite nel porto:

- MEGA EXPRESS (anno di costruzione: 2001),
- MEGA EXPRESS TWO (anno di costruzione: 2001),
- MEGA EXPRESS THREE (anno di costruzione: 2001),
- MEGA EXPRESS FOUR (anno di costruzione: 1995),
- MEGA EXPRESS FIVE (anno di costruzione: 1993),
- MEGA ANDREA (anno di costruzione: 1986),
- MEGA SMERALDA (anno di costruzione: 1985),
- PASCAL LOTA (anno di costruzione: 2008).

La capitaneria ha inoltre fornito i seguenti dati per le navi da ricerca di IFREMER per l'anno 2019:

	Nave (volume di combustibile stoccato) (anno di costruzione)	Tipo di combustibile	Quantità in tonnellate	N. di navi rifornite	Quantità media per nave in tonnellate
IFREMER	Tethys (30 m <sup>3</sup> ) (1993)	DML	22	2	11
	Atalante (580 m <sup>3</sup> ) (1989)	DML	0	0	0
	Pourquoi Pas (1233 m <sup>3</sup> ) (2005)	DML	0	0	0
	Europe (32 m <sup>3</sup> ) (1993)	DML	37	3	12
	Antea (73 m <sup>3</sup> ) (1995)	DML	80	2	40
	Thalassa (460 m <sup>3</sup> ) (1996)	DML	223	1	223
<b>TOTALE</b>			<b>362</b>	<b>8</b>	

*Tabella 10-2: Quantità rifornite tramite autobotti per le navi da ricerca IFREMER*

Infine, la capitaneria ha dichiarato:

- Le navi addette al servizio di pilotaggio nel 2019 hanno consumato in totale 48 tonnellate di DML, rifornito da 50 autobotti nel corso dell'anno;
- Le navi addette al servizio di ormeggio nel 2019 hanno consumato in totale 8,5 tonnellate di DML, rifornito da 24 autobotti nel corso dell'anno;

Il valore totale è quindi di 56,5 tonnellate per le navi di servizio.

- Le navi portacavi ORANGE MARINE nel 2019 sono state rifornite 8 volte per un consumo totale di 1.212 tonnellate di DML. La quantità media rifornita è di 152 tonnellate.