

Projet TDI RETE-GNL

Technologies et dimensionnement des installations pour le RÉSEAU de distribution primaire de GNL dans les ports de la zone transfrontalière

Produit T1.1.2 : “SWOT Analysis des options technologiques pour le bunkering de GNL dans les ports”

Indice

1.	Classification des produits T.1.1.1.2 dans le cadre du projet TDI RETE-GNL	4
2.	Aspects introductifs du GNL.....	10
2.1.	Nature et composition chimique du GNL.....	10
2.2.	La chaîne tecnologico-productive du GNL : préliminaires	14
3.	Analyse SWOT : profils méthodologiques et review de la littérature	21
3.1.	Review de la littérature.....	22
3.2.	Implications liées à la littérature review	30
3.3.	Analyse SWOT des technologies pour le bunkering de GNL en zone portuaire: cadre conceptuel et methodologie	31
4.	Analyse SWOT des configurations technologiques pour le bunkering du GNL.....	38
4.1.	Configuration Truck to Ship (TTS)	39
4.2.	Configurazione Ship to Ship (STS)	44
4.3.	Configuration Port to Ship, Terminal to Shipo via pipeline (PTS).....	48
4.4.	La configuration Mobile Fuel Tanks	52
1.5.	Benchmarking et comparaison de configurations alternatives	55
5.	Application de l'analyse SWOT à des cas d'affaires spécifiques.....	57
	Bibliographie.....	61

Index de tableaux

Tableau 1. SWOT L'analyse comme outil de gestion pour l'évaluation des technologies alternatives ou dans la zone portuaire dans les études universitaires	25
Tableau 2. Échantillon de contributions scientifiques analysées	26
Tableau 3. Principaux domaines d'application de l'analyse SWOT dans la littérature relative au secteur maritime-portuaire	28
Tableau 4. Benchmarking et comparaison de configurations alternatives	55

Index del figures

Figure 1. Output TDI RETE-GNL	7
Figure 2. Activités T1.1 et produits T1.1.1-T1.1.2-T1.1.3	8
Figure 3. Composition et caractéristiques moyennes du gaz naturel injecté en Italie et comparaison avec les autres pays européens	10
Figure 4. GNL: Variations des caractéristiques physico-chimiques en fonction de la variation de la composition	14
Figure 5. La chaîne d'approvisionnement en Gaz Naturel	18
Figure 6. Système de fourniture, de stockage et de distribution de GNL à petite échelle	19
Figure 7. Processus méthodologique de revue systématique de la littérature	24
Figure 8. Méthodologie : étapes du processus d'analyse SWOT	32
Figure 9. Matrice SWOT: exemple d'application dans un environnement d'entreprise	34
Figure 10. Liste des macro-catégories pour l'analyse des caractéristiques des technologies de soutage du GNL	37
Figure 11 Les quatre configurations de soutage	39
Figure 12. Approvisionnement en GNL selon la configuration TTS	40
Figure 13. Configuration TTS avec l'utilisation de plusieurs navires-citernes	43
Figure 14. Analyse SWOT Configuration TTS	43
Figure 15. Opérations de soutage de GNL effectuées par AIDA Nova aux îles Canaries	45
Figure 16. Configuration des STS par barge	46
Figure 17. Analyse SWOT de la configuration STS.	48
Figure 18. Approvisionnement en GNL selon la configuration du STP	49
Figure 19. Analyse SWOT de la configuration du PTS	52
Figure 20. Rifornimento di GNL secondo configurazione mobile fuel tank	53
Figure 21. Analisi SWOT della configurazione mobile fuel tanks	54

1. Classification des produits T.1.1.1.2 dans le cadre du projet TDI RETE-GNL

Le projet Interreg Maritime “Technologie e Dimensionamento di Impianti per la RETE di distribuzione primaria di GNL nei porti dell’area transfrontaliera”¹ (par la suite TDI RETE-GNL) il vise à améliorer la durabilité des activités des ports commerciaux, en contribuant à la réduction des émissions grâce au soutien à la planification et au développement d’infrastructures pour la fourniture et le stockage de GNL dans les ports de la zone cible. L’objectif poursuivi est de favoriser l’utilisation du gaz naturel liquéfié (GNL) comme carburant pour le transport maritime, en se référant à différents types de navires.

Le projet est financé, conformément au II avis maritime Interreg ITA-FRA 1420, au titre de l’axe prioritaire 3 - Amélioration du lien entre les territoires et de la durabilité des activités portuaires et dans le cadre de l’objectif spécifique 7C2 - Améliorer la durabilité des activités portuaires commerce en contribuant à la réduction des émissions de carbone.

Tenant compte de la nécessité de développer une approche systémique et intégrée du problème lié à la disponibilité des services de bunkering de GNL dans les ports de la zone cible, le projet vise à identifier les bases communes à adopter dans l’espace maritime transfrontalier Italie-France qui permette la création d’un réseau de distribution de GNL primaire basé sur des caractéristiques technologiques homogènes. Le système global d’offre et la supply chain associée doivent être planifiés (en termes de localisation, de dimensionnement et de choix des options technologiques à adopter) afin de répondre aux besoins qualitatifs et quantitatifs exprimés par la demande de l’armateur, ainsi que par les autres utilisateurs et clients potentiels du secteur. Chaîne technologique productrice de GNL.

À cette fin, le projet TDI RETE-GNL associe des profils techniques et scientifiques afin d’identifier de manière opérationnelle des solutions innovantes répondant aux besoins de transport et de logistique liés aux flux de GNL dans la zone portuaire maritime, entre des zones géographiquement proches permettant accroître la durabilité à long terme des activités portuaires.

La propagation du GNL dans les ports nécessite en effet la mise en place d’un système d’infrastructure privilégiant la logique de corridor et la mise en place d’un réseau de distribution fiable, sécurisé et intégré. La construction de cette infrastructure implique des décisions stratégiques concernant l’emplacement du bunkering, du stockage et de l’approvisionnement en GNL. Il est également essentiel de faire des choix variés en fonction de la taille des différents nœuds d’infrastructure, usines et composants associés : choix, ces derniers devant être pris selon la logique systémique, impliquant souvent la participation d’une

¹Le projet TDI RETE-LNG financé à Valere sur le II Avviso Interreg 1420 a une durée de 24 mois (01.03.2018-29.02.2020) et un budget total de 749.042,16 €. Dans son partenariat, UNIGE-CIELI, partenaire chef de file, UNIPI, UNICA-CIREM, OTC et CCIV représentent l’ensemble des territoires de la zone cible participant au programme transfrontalier.

multiplicité d'acteurs publics et privés. *divers* titres impliqués dans le secteur du GNL et dans la réglementation correspondante.

L'attention croissante portée aux problèmes de la propulsion marine par le GNL et de son bunkering dans des zones portuaires dédiées est un facteur de développement fondamental du problème de la durabilité environnementale des systèmes de transport. Comme on le sait si bien, au cours des dix dernières années, les préoccupations de l'opinion publique au sujet de la pollution de l'environnement et de la pollution atmosphérique par le transport maritime se sont considérablement accrues.

Bien que le transport maritime par voie maritime soit reconnu comme un moyen de transport éco-durable et «vert», la plupart des navires brûlent du mazout lourd à forte teneur en soufre, ce qui provoque toujours des externalités environnementales négatives. En fait, chaque année, le secteur des transports maritimes émet plusieurs millions de tonnes de particules, d'oxydes de soufre (SO_x), d'oxydes d'azote (NO_x) et de dioxyde de carbone (CO₂). L'IMO (2014) a estimé que le secteur des transports maritimes était responsable de 3 à 5% des émissions mondiales de CO₂, de 15% des émissions de NO_x et de 5 à 8% des émissions de SO_x. Étant donné que près de 70% des émissions nocives susmentionnées se produisent dans un rayon de 400 kilomètres des côtes maritimes, on peut dire que la flotte internationale contribue de manière significative à la pollution atmosphérique dans les zones côtières et portuaires.

À cet égard, l'Organisation maritime internationale (IMO) est l'organisation internationale la plus compétente appelée à s'attaquer au problème de la pollution atmosphérique causée par les transports, notamment par la publication de normes strictes et rigoureuses.

La convention MARPOL (Annexe VI)² a déjà défini les délais dans lesquels réduire progressivement l'utilisation de carburants générant une forte production de NO_x e SO_x, établissant en ce sens les dates auxquelles les navires n'auront d'autre choix que d'utiliser davantage de carburants à faible teneur en soufre, ou d'opter pour des technologies alternatives pour la propulsion navale.

La récente promulgation de la directive 2014/94/UE du Parlement européen et du Conseil, qui régit la construction d'infrastructures destinées à soutenir la distribution de carburants

² L'instrument combiné s'appelle la Convention internationale de 1973 pour la prévention de la pollution par les navires, telle que modifiée par le Protocole de 1978 y relatif (MARPOL 73/78) et est entrée en vigueur le 2 octobre 1983 :

- Annexe I - Règlement relatif à la prévention de la pollution par les hydrocarbures ;
- Annexe II - Règlement relatif à la lutte contre la pollution par les substances liquides nocives en vrac ;
- Annexe III - Prévention de la pollution par les substances nocives transportées par mer en colis ;
- Annexe IV - Prévention de la pollution par les eaux usées des navires ;
- Annexe V - Prévention de la pollution par les déchets d'exploitation des navires ;
- Annexe VI - Prévention de la pollution atmosphérique par les navires.

En particulier, l'annexe VI, qui est entrée en vigueur le 19 mai 2005, vise la protection de la pollution marine créée par le transport maritime ; la zone de contrôle des émissions (ECA) pour la zone NECA de l'azote (NO_x) et la zone SECA du soufre (SO_x). (EEDI) pour l'indice de conception de l'efficacité énergétique (EEDI) pour les navires neufs et le navire de gestion de l'efficacité énergétique (SEEMP) pour tous les navires).

alternatifs "DAFI" (mise en œuvre en Italie avec le décret législatif n° 257 du 16 décembre 2016 et l'entrée en vigueur le 14/01/2017), offre à tous les utilisateurs potentiels la certitude juridique que le GNL sera largement disponible dans les ports de l'UE, obligeant les États membres à mettre en place un nombre suffisant de points de ravitaillement en GNL, afin de permettre aux navires de navigation intérieure et aux navires de transport de GNL de circuler sur le réseau central TEN-T de l'UE entre le 31 décembre 2025.

Les États membres veillent, par le biais de leurs cadres stratégiques nationaux, à ce qu'un nombre suffisant de points de ravitaillement en GNL soient installés dans les ports intérieurs, afin de permettre aux navires de navigation intérieure ou aux navires de transport en mer de GNL de circuler à l'intérieur du réseau principal TEN-T entre la date du 31 décembre 2030.

Aussi l'Agence européenne pour la sécurité maritime (EMSA³) travaille à l'élaboration de mécanismes visant à soutenir la mise en œuvre et l'application uniforme de la directive 2014/94/UE relative au développement d'une infrastructure pour carburants alternatifs, notamment par le biais du document "EMSA LNG Bunkering Guidance for Port Authorities and Administrations" qui vise à aider les autorités portuaires et les administrations à promouvoir l'utilisation du GNL comme carburant pour les navires, dans le cadre d'un effort commun visant à accroître la sécurité et la durabilité.

Le projet TDI RETE-GNL s'inscrit donc dans ce contexte et a parmi ses objectifs précisément d'identifier des solutions technologiques productives pour la distribution et le bunkering du GNL dans les ports de la zone transfrontalière sur la base de procédures et de normes d'exploitation partagées.

Le projet vise également à identifier l'emplacement éventuel des plants de production et des gisements du réseau de distribution primaire, à vérifier les externalités potentielles et la durabilité économique et financière.

Les résultats du projet⁴ consistent en la préparation de rapports pour la définition de normes technologiques et de procédures communes pour le bunkering de GNL, ainsi qu'en un plan d'action intégré en faveur des ports. En détail, le projet définit :

³ L'Agence européenne pour la sécurité maritime fournit aux gouvernements et aux autorités des informations détaillées et fiables sur ce qui se passe en mer, en temps réel, pour les aider à mettre en œuvre efficacement les politiques maritimes. En outre, elle offre des services maritimes qui répondent à l'évolution des besoins des différents utilisateurs du secteur en Europe (notification des navires, observation de la terre, information maritime intégrée, lutte contre la pollution, contrôle par l'État du port) et effectue différents types de contrôles techniques (vérification des sociétés de classification enregistrées comme "organismes agréés" par les États membres, évaluation des systèmes de formation et de certification maritimes des pays tiers, contrôle de la bonne exécution des inspections des navires faisant escale dans les ports européens, vérification des systèmes nationaux de suivi du trafic maritime, etc.)

⁴ Les bénéficiaires sont les autorités portuaires et les organismes publics locaux intéressés par la construction d'installations de ravitaillement en GNL. Le caractère stratégique du projet découle de sa valeur interrégionale, du positionnement de l'espace maritime transfrontalier IT-FR en Méditerranée du Nord et des effets liés au développement de compétences intégrées pour le développement d'un système commun d'infrastructures. L'approche transfrontalière est imposée par la densité des services maritimes d'origine/destination dans la zone et

- a) des solutions technologiques normalisées ainsi que des procédures et protocoles opérationnels partagés à appliquer dans le contexte des activités de ravitaillement et de stockage du GNL dans les ports de la zone cible (Composante T1 «Principes directeurs pour la normalisation des options technologiques et des procédures d'exploitation du fourniture et stockage de GNL dans les ports de la zone du programme");
- b) une étude préliminaire à la réalisation d'un plan d'action commun pour les ports qui prend en compte simultanément la localisation possible et le dimensionnement (optimal) des installations / dépôts du réseau de distribution primaire, en vérifiant les externalités et la viabilité financière (Composante T2 " Préparation du plan d'action commun intégré pour la planification et le développement d'installations de bunkering de GNL dans les ports de la zone du programme ").

Figure 1. Output TDI RETE-GNL

@ Output / realizzazioni del progetto Overview table on project outputs as defined in the work plan					
@Indicatori di output /realizzazione del Programma	@Quantificazione indicatori di output /realizzazione	@Unità di misura	@ Output / realizzazioni del progetto quantification (target)	@ Output / realizzazioni del progetto number	@Titolo Output / realizzazioni del progetto(title)
OC2-Numero di studi congiunti realizzati	2,00	Studi congiunti	1,00	T1.1.1	Linee guida per la standardizzazione delle opzioni tecnologiche e delle procedure operative per il rifornimento e lo stoccaggio di GNL nei porti dell'area di Programma
			1,00	T2.1.1	Studio per un piano d'azione congiunto per il GNL in ambito portuale

Source: Formulaire projet TDI RETE-GNL

Dans le formulaire, en relation avec l'activité T1.1. "Analyse de l'état de la technique en ce qui concerne les options technologiques et les composants utilisés dans le domaine des systèmes d'approvisionnement et de bunkering en GNL et la définition de normes technologiques et de procédures partagées " trois produits différents sont prévus:

- ✓ **Produit T.1.1.1** : Rapport lignes directrices pour la normalisation des technologies de bunkering (date limite 08.2019)
- ✓ **Produit T.1.1.2** : SWOT Analyse des options technologiques pour le bunkering de GNL dans les ports (date limite 02.2019).
- ✓ **Produit T.1.1.3** : Meilleures pratiques concernant les procédures de stockage et de

par la nécessité de disposer d'installations présentant des caractéristiques technologiques homogènes. L'innovation du projet découle de l'approche interdisciplinaire qui combine les dimensions technico-techniques, économiques et juridiques et de l'utilisation de logiques communes pour éviter la duplication des investissements et le risque de non-interopérabilité entre différentes usines.

bunkering de GNL dans la zone portuaire (08.2019).

Le produit T.1.1.2 "Swot Analyse des options technologiques pour le bunkering de GNL dans les ports" vise à examiner les problèmes et les avantages liés aux configurations de bunkering. Ce produit est étroitement lié aux produits T.1.1.1 et T.1.1.3. car il s'agit d'une condition préalable à l'identification des directives pour la normalisation des technologies et des procédures d'exploitation du GNL dans les ports de la zone cible et contribue au développement d'un patrimoine de connaissances commun et partagé concernant les options technologiques, en termes de gestion et de managing, ainsi que technique et d'ingénierie.

Figure 2. Activités T1.1 et produits T1.1.1-T1.1.2-T1.1.3

@Attività numero	@Titolo attività	@Data d'inizio attività	@Data fine attività	@Attività Budget
@Attività T1.1	Analisi dello stato dell'arte in merito alle opzioni tecnologiche e alle componenti impiegate nell'ambito di sistemi di alimentazione e bunkering di LNG e definizione di standard tecnologici e procedure condivise	01.03.2018	31.08.2019	0,00
Esame delle criticità e dei vantaggi connessi alle configurazioni di bunkering (TTS; STS; TPS, e Mobile Fuel Tanks). Studio sotto il profilo tecnico e ingegneristico delle componenti impiantistiche. Definizione di un patrimonio comune e condiviso di conoscenze in merito alle opzioni tecnologiche, e identificazione delle linee guida per la standardizzazione delle tecnologie e delle procedure operative per il GNL nei porti dell'area di Programma.				
@Prodotto numero	@Titolo del Prodotto	@Descrizione del Prodotto	@Valore target del Prodotto	@Data di realizzazione del Prodotto
@Prodotto T1.1.1	Report linee guida per la standardizzazione delle tecnologie per il bunkering	N.1 documento di sintesi (report) per la diffusione delle principali conoscenze di base attinenti alle diverse componenti di un sistema di bunkering per il GNL in ambito portuale.	1,00	08.2019
@Prodotto T1.1.2	Swot analysis delle opzioni tecnologiche per il bunkering di GNL nei porti	N.1 SWOT analysis relativa alle diverse opzioni tecnologiche per il bunkering di GNL in ambito marittimo portuale. Il documento in oggetto costituisce la precondizione per la definizione delle linee guida di standardizzazione delle tecnologie per il GNL.	1,00	02.2019
@Prodotto T1.1.3	Best practices relative alle procedure di bunkering e stoccaggio di GNL in ambito portuale	N.1 documento di sintesi relativo alle best practices connesse alle procedure di bunkering e di stoccaggio nell'ambito di impianti GNL in ambito portuale. Il documento considererà disgiuntamente le procedure attinenti alle varie opzioni tecnologiche.	1,00	08.2019

Source: Formulaire projet TDI RETE-GNL

En référence aux activités mentionnées dans le produit T.1.1.2, détaillées dans le document suivant, le partenaire chef de file du projet TDI RETE-GNL (UNIGE-CIELI) a procédé à l'élaboration préliminaire d'un cadre théorique basé sur l'utilisation de la méthodologie "SWOT Analyse" et a utilisé cette méthode pour examiner au préalable les différentes options technologiques en matière de bunkering et de GNL dans la zone portuaire. À cette fin, le groupe de travail du CF, conformément aux principaux ouvrages scientifiques sur le sujet (Piercy et Giles, 1989, Pickton et Wright, 1998, Grea, 2000, Leigh et Pershing, 2006) et aux développements qui caractérisent les bonnes pratiques répandues dans le secteur, a examiné en détail les principales caractéristiques (intrinsèques) qui distinguent les options technologiques pour le bunkering du GNL dans la zone portuaire (EMSA, 2018):

1. Configurations camion à navire (TTS)
2. Configurations navire à navire (STS)
3. Configurations de port à navire (PTS)
4. Configurations des réservoirs de carburant mobiles.

Pour chaque option technologique, l'examen des principaux atouts-faiblesses/opportunités-menaces a été lancé, conformément aux hypothèses et paradigmes qui caractérisent la méthode SWOT Analysis. En détaille CIELI s'est concentré sur les aspects suivants :

- ✓ Volumes de GNL gérés / gérables
- ✓ Rapidité des opérations de bunkering
- ✓ Applications dans la zone portuaire maritime
- ✓ Avantages / inconvénients de la gestion
- ✓ Avantages / inconvénients économiques
- ✓ Avantages / inconvénients socio-environnementaux

Les résultats des activités de recherche menées ont ensuite été partagés avec les partenaires scientifiques du projet (UNIFI et UNICA), discutés après et validés dans le contexte du II CdP. Le présent document constitue la version préliminaire du produit T.1.1.2. (sur la plate-forme pendant l'exécution des activités de reporting visées à la période II).

Le document a été préparé par le groupe de travail des CF (UNIGE-CIELI) et a ensuite été soumis à une vérification, à une intégration et à des commentaires par les partenaires P2 (UNIFI) et P3 (UNICA). Il a ensuite été partagé et validé dans le contexte de du II CdP également avec les partenaires P4 (OTC) et P5 (CCIV) et avec le responsable des stakeholders (Dott. Giuseppe Canepa, AdSP de la Marr Ligure Occidentale). Ce document sera diffusé aux principales catégories de stakeholders au fin de réaliser le *fine-tuning* du produit avec l'intégration des principaux avis et commentaires des groupes de parties prenantes concernés. Avant de procéder à l'analyse détaillée des options technologiques pour le bunkering du GNL, accompagnée de la SWOT analysis correspondante, il est nécessaire, compte tenu de la propagation du document, même entre des sujets de formation non technique, chimique et/ou technique qui sont en tout état de cause appelés à prendre des décisions de nature politique ou de gestion en relation au phénomène étudié, préciser certaines informations techniques relatives à la nature et à la composition du GNL, ainsi que rappeler rapidement les différentes étapes de l'articulation de la chaîne techno-productive du GNL afin de mieux comprendre la nature, les caractéristiques et le comportement stratégique des différents acteurs impliqués, tels que détaillés dans le chapitre 2 suivant.

2. Aspects introductifs du GNL

2.1. Nature et composition chimique du GNL

Le gaz naturel est un mélange gazeux composé d'hydrocarbures, principalement du méthane et, dans une moindre mesure, de l'éthane, du propane, des hydrocarbures supérieurs et de modestes impuretés de composants azotés (Mokhatab et al, 2013). Dans le mélange peuvent être présents des gaz inertes tels que l'azote et le dioxyde de carbone. Dans l'ensemble, il est donc possible d'affirmer que le gaz naturel est un carburant à composition variable, composé à plus de 90% de méthane (Figure 3).

Il est inodore, incolore, non toxique et non corrosif il s'agit du combustible fossile qui, à ce jour, détermine l'impact environnemental le plus faible. Comme il se caractérise par un rapport carbone / hydrogène plus faible que les autres combustibles fossiles, le gaz naturel produit la quantité minimale de CO₂ pour la même énergie utile produite. Le gaz naturel ne contient pas de quantités importantes de soufre et, en tant que combustible gazeux, permet un excellent mélange avec le comburant, minimisant, les autres facteurs étant égaux, les polluants résultant d'une combustion incomplète (CO, non brûlé). Le gaz naturel peut être utilisé dans des processus de combustion complexes (par exemple, des chambres de combustion dans des installations de turbogaz) et permet la création de cycles thermodynamiques à hautes performances.

L'une des stratégies les plus prometteuses pour contrôler les émissions atmosphériques produites par la combustion de gaz est celle qui concerne l'utilisation de combustibles à faible teneur en soufre. Le mélange de gaz naturel peut également contenir du soufre, sous forme d'hydrogène sulfuré (qui est l'un des principaux contaminants de ce type de carburant), qui est toutefois éliminé avant la liquéfaction. Par conséquent, le soufre n'est pas présent dans le gaz liquéfié et ensuite dans le gaz regazéifié.

Figure 3. Composition et caractéristiques moyennes du gaz naturel injecté en Italie et comparaison avec les autres pays européens

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

source: Snam Rete Gas, 2015

La comparaison avec d'autres combustibles traditionnels (par exemple, le mazout et le gasoil) en ce qui concerne leurs **caractéristiques et leurs propriétés** est très intéressante. La famille des mazouts comprend les distillats lourds ou les résidus de distillation ou d'autres opérations de raffinage et est classée en fonction de la viscosité, et la teneur en soufre. Le pouvoir calorifique moyen est de 10.000 kcal/kg⁵.

Le carburant diesel provient de la distillation primaire du pétrole brut. Il contient différentes classes d'hydrocarbures, telles que les paraffines, les aromatiques et les naphthènes, dans des proportions qui varient du diesel au diesel. Sa principale caractéristique est la valeur calorifique élevée dont la valeur moyenne est de 15 000 kcal / kg. Le gaz naturel ou méthane est l'hydrocarbure le plus simple et a un pouvoir calorifique moyen de 13 500 kcal / kg.

La comparaison des **émissions de combustion** est également importante. Les émissions de particules sont plus élevées lors de la combustion du fioul, suivies de celles du diesel et enfin de la combustion du gaz naturel : l'ampleur des émissions diminue avec la diminution du poids spécifique du carburant. Les émissions résultant de la combustion du gaz naturel ne contiennent pas de résidus de carbone, de benzène et de poussières ultra-minces (PM10), contrairement à ce qui se passe lors de la combustion d'essence et de diesel ; de plus, ils ne contiennent pas d'anhydride sulfureux, hautement polluant (IMO, 2014).

Avec la même chaleur produite, le gaz naturel ne produit que du dioxyde de carbone et des oxydes d'azote, mais dans un bien moindre mesure que ceux produits par le charbon et le pétrole. Par conséquent, la combustion du gaz naturel a sur l'environnement, à cet égard, des effets nettement moins nocifs que ceux d'autres combustibles.

EMISSIONI DI CO₂: Confronto tra gas naturale e altri combustibili
 In termini di CO₂ il confronto tra il gas naturale e gli altri combustibili registra i seguenti valori:

- ✓ 25 % in meno rispetto alla benzina;
- ✓ 16 % in meno rispetto al Gpl;
- ✓ 30 % in meno rispetto al gasolio;
- ✓ 70 % in meno rispetto al carbone.

EMISSIONI DI XXX: Confronto tra gas naturale e altri combustibili
 In termini di ozono il confronto tra il gas naturale e gli altri combustibili registra i seguenti valori:

- ✓ 80 % in meno rispetto alla benzina;
- ✓ 50 % in meno rispetto al gasolio e al Gpl.

Étant donné que, dans le contexte de ce document, nous souhaitons examiner, au moyen de la SWOT analysis, quels sont les principaux avantages et inconvénients liés à l'utilisation des différentes solutions technologiques disponibles pour le bunkering de GNL utilisé pour la propulsion marine, il semble approprié d'examiner rapidement le lien entre les caractéristiques technologiques des moteurs et le type de carburant utilisé.

En fait, sous ce profil, il faut considérer que la conception d'un moteur dépend des caractéristiques spécifiques du carburant. Les moteurs utilisant du gaz naturel peuvent être

⁵Kilogrammes de calories par kilogramme de carburant

produits avantageusement avec un taux de compression élevé, car ce carburant a un indice d'octane (120) nettement supérieur à celui de l'essence et ne nécessite par conséquent aucun agent antidétonant. De plus, les moteurs conçus pour l'utilisation du gaz naturel, et donc aussi ceux alimentés au GNL (puisque celui-ci redevient gazeux avant d'être utilisé dans le moteur) ont des rendements, dans les mêmes conditions, supérieurs à ceux de l'essence.

Dans le cas du GNL, la combustion dans le moteur est complète, sans résidus, entraîne une forte réduction de l'usure de toutes les pièces mobiles du moteur (pistons, cylindres, bielles et arbres) et, par conséquent, permet d'augmenter la "durée de vie" moyenne de l'apparat. En outre, la réduction des résidus réduit les interventions de maintenance (huiles de graissage et filtres), entraînant ainsi des économies significatives en termes de coûts de maintenance ordinaires et extraordinaires des systèmes du moteur.

Ce sont des profils qui rendent l'utilisation du système de propulsion navale GNL intéressante par les armateurs car ces caractéristiques se traduisent non seulement par une réduction des émissions nocives pour l'environnement, mais également par une réduction drastique des coûts d'exploitation et coûts de maintenance des appareils.

Du point de vue de l'armateur, du propriétaire du navire ou de la compagnie de navigation, le choix d'investir dans ce type de navire, en particulier en ce qui concerne des secteurs particuliers tels que les croisières et les ferries, peut également être justifié par la volonté d'adopter, au niveau de l'entreprise, des stratégies «vertes» pour la gestion des relations avec certains types d'acteurs et, au niveau des entreprises, des stratégies de différenciation de l'offre qui s'appuient sur les facteurs de marché imputables à l'écodurabilité et à la réduction des impacts sur l'environnement (Kyvik et Gjosaeter, 2017).

Outre les aspects examinés, l'utilisation du gaz naturel en remplacement des combustibles les plus couramment utilisés confère d'autres avantages environnementaux significatifs, car ils le rendent utilisable avec de simples traitements de déshydratation et de purification, contrairement à ce qui se produit pour d'autres combustibles, notamment les dérivés du pétrole qui nécessitent des procédés de distillation coûteux (et polluants). Les avantages présentés par l'utilisation du gaz naturel, dont les principaux ont été brièvement exposés, lui confèrent un rôle de premier plan dans la transition historique qui permettra de passer des combustibles fossiles polluants aux sources d'énergie renouvelables (MISE, 2015).

Dans les utilisations techniques et commerciales, le gaz naturel est géré sous deux états distincts : celui du gaz comprimé et celui du gaz liquide. Ce dernier, dans presque tous les cas, à la pression atmosphérique.

Le **gaz naturel comprimé (GNC)** est utilisé dans les véhicules autotrazione et est fourni à haute pression (environ 220 bars) pour les véhicules équipés de systèmes spéciaux de transport et de stockage (bouteilles). Historiquement, il était très populaire en Italie dans les années 1930, pour compenser le manque de pétrole national. Aujourd'hui, il est promu dans le monde entier comme un carburant écologique à utiliser de préférence dans les zones urbaines à risque de forte pollution. Outre l'Italie, l'utilisation du GNC est très répandue en Argentine et en Nouvelle-Zélande..

Le **gaz naturel liquéfié (GNL)** est refroidi à -162°C , à la pression atmosphérique, afin de le rendre apte au transport par citernes ou au stockage. Pour être utilisé, le produit liquide doit ensuite être converti à l'état gazeux dans des installations spéciales de regazéification et amené à la pression de service des conduites.

En ce qui concerne le gaz naturel à l'état liquide (GNL), il s'agit d'un gaz au sens strict, ou plutôt avec une température critique inférieure à la température ambiante. En particulier, il a une température critique $T_c = -82^{\circ}\text{C}$ à une pression de 46 bars. Par conséquent, il ne peut pas être maintenu à l'état liquide à des températures supérieures à T_c . A la pression atmosphérique, la température d'équilibre gaz-vapeur est de -162°C . Grâce au procédé de liquéfaction, il est possible d'obtenir une réduction de volume d'environ 600 fois par rapport à la condition de départ gazeuse, ce qui détermine une plus grande facilité de stockage et de transport jusqu'au terminal de regazéification. On peut également constater que le gaz naturel issu de la regazéification du GNL est "plus léger" et contient une quantité d'impuretés plus faible que le gaz naturel correspondant issu des gisements. Le GNL est transporté et stocké à une température cryogénique et a normalement une teneur en méthane variant de 85% à 96% en volume. S'il est fait référence à la norme technique UNI EN 1160 "Installations et équipements pour le gaz naturel liquéfié - Caractéristiques générales du gaz naturel liquéfié", la teneur minimale en méthane doit être d'au moins 75% en volume. Le GNL a une densité égale à environ la moitié de celle de l'eau, au contact de laquelle il peut donner lieu à une transition de phase rapide (RPT) ou à un flottement avant de se vaporiser. Le GNL, en tant que nuage de vapeur, produit un "effet de brouillard" par condensation de la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère. Ce nuage peut alors se propager avec la possibilité d'amorcer une fois que la plage d'inflammabilité est atteinte.

En cas de dispersion du GNL, il convient de noter qu'il ne libère pas de résidus sur la terre ou dans l'eau, comme décrit en détail à la section 5 du présent rapport. Trois exemples typiques de composition du GNL sont présentés à la **Erreur. L'origine riferimento non è stata trovata.** et mettent en évidence la variation de ses caractéristiques physico-chimiques en fonction de la variation de la composition.

Figure 4. GNL: Variations des caractéristiques physico-chimiques en fonction de la variation de la composition

Caratteristiche al punto di ebollizione alla pressione normale	GNL Esemplio 1	GNL Esemplio 2	GNL Esemplio 3
Concentrazione Molare (%)			
N ₂	0.5	1.79	0.36
CH ₄	97.5	93.9	87.20
C ₂ H ₆	1.8	3.26	8.61
C ₃ H ₈	0.2	0.69	2.74
i C ₄ H ₁₀	-	0.12	0.42
n C ₄ H ₁₀	-	0.15	0.65
C ₅ H ₁₂	-	0.09	0.02
Temperatura del punto di ebollizione (°C)	-162.6	-165.3	-161.3
Massa molare (kg/kmol)	16.41	17.07	18.52
Massa volumica (kg/m ³)	431.6	448.8	468.7
Volume di gas misurato a 0 °C e 101325 Pa/volume di liquido (m ³ /m ³)	590	590	568
a 0 °C e 101325 Pa/massa di liquido (m ³ /103kg)	1367	1314	1211

Source: UNI EN 1160

Contrairement aux autres hydrocarbures, le gaz naturel ne réagit pas avec d'autres substances et n'est pas considéré comme une source d'émissions dangereuses. Il semble nécessaire de souligner que le méthane (principal composant du gaz naturel) est à l'origine de l'effet de serre (gaz à effet de serre), avec GWP⁶ 21, ce qui signifie que sa dispersion dans l'atmosphère peut contribuer négativement à la variation climatique.

2.2. La chaîne technico-productive du GNL : préliminaires

Par convention, dans la chaîne d'approvisionnement en gaz naturel, les phases fondamentales du GNL sont identifiées et correspondent à :

1. Production de gaz;
2. Liquéfaction;
3. Transport;
4. Regazéification;
5. Logistique de distribution

Production de gaz : La production de gaz comprend l'extraction conventionnelle de gaz du sous-sol cette procédure se déroule maintenant selon les technologies établies dans la plupart des cas, le gaz est piégé avec l'huile sous une couche de roche. Compte tenu de la pression élevée, le gaz s'échappe spontanément en aval du forage et, d'un point de vue opérationnel, il suffit de le transporter dans un tuyau, de le diriger vers la destination finale ou vers un site de stockage spécial, qui peut être un centre de stockage artificiel, ou un champ naturel épuisé.

⁶ Le GWP est une mesure de la contribution d'une molécule d'un gaz à effet de serre donné (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote, hydrofluorocarbures, hydrocarbures perfluorés et hexafluorure de soufre) à l'effet de serre ; l'indice est basé sur une échelle relative qui compare chaque gaz au dioxyde de carbone, dont le GWT est par définition 1.

Récemment, nous avons assisté à l'introduction de nouvelles techniques d'extraction de gaz de type non conventionnel, et en particulier du *shale gas*⁷ et du *coal bed methane*⁸.

Liquéfaction : La liquation est le processus par lequel il est possible de transporter de gros volumes de gaz naturel des pays producteurs aux pays importateurs.

La liquéfaction permet en effet de réduire le volume du gaz environ 600 fois par rapport à son état gazeux, favorisant d'un point de vue technique et économique son transfert entre zones géographiques même très lointain : le changement de phase est réalisé en apportant gaz naturel à une température critique d'environ -162 ° C, à la pression atmosphérique.

Les usines de liquéfaction se distinguent traditionnellement *onshore* et *offshore* en fonction de leur emplacement. Ces installations, situées dans les grands pays producteurs, fonctionnent comme d'énormes installations de réfrigération et sont organisées en unités de traitement parallèles (*trains*), chacune d'elles transformant une partie du gaz afin d'obtenir sa liquéfaction.

À l'intérieur de chaque train de liquéfaction, le gaz est purifié, ce qui le prive de toute huile, eau et gaz acides (tels que le dioxyde de carbone et le sulfure d'hydrogène) susceptibles d'être présents dans le même train, ce qui risquerait de corroder les installations de la chaîne le même processus élimine également le mercure et les hydrocarbures plus lourds, ainsi qu'une partie de l'éthane, du butane et du propane (ces derniers, pendant la phase de refroidissement, peut donner lieu à la formation de sédiments).

Une fois cette phase du processus terminée, le GNL est placé dans des réservoirs cryogéniques spéciaux pour le stockage, avant d'être chargé dans des méthaniers spéciaux. Dans le cadre du *supply chain* du GNL, la liquéfaction représente la phase qui nécessite la plus grande consommation d'énergie, c'est donc la phase de concentration des principaux efforts technologiques pour accroître son rapport coût-efficacité et donc sa durabilité.

Transport : le GNL est ensuite transporté à une température constante, à la pression atmosphérique, sur des méthaniers spéciaux (*LNG carriers*). Le transport naval⁹ permet d'accéder à cette source d'énergie même dans des zones géographiques qui seraient presque inaccessibles par l'utilisation de *pipelines*.

⁷Le Shale gas - un gaz d'argile, appelé à tort gaz de schiste - est un gaz méthane extrait de dépôts argileux partiellement diagénisés, issu de la décomposition anaérobie de la matière organique contenue dans les argiles pendant la diagenèse. Ces gisements sont généralement situés entre 2 000 et 4 000 mètres de profondeur : leur production nécessite donc d'abord un forage vertical pour atteindre le site, puis un forage horizontal suivi d'une importante fracturation hydraulique pour améliorer la perméabilité et permettre l'extraction du gaz.

⁸ Le coal bed methane, par contre, est le gaz méthane qui est extrait des couches de charbon présentes dans le sous-sol de certains bassins géologiques. Ce méthane, contrairement à celui présent dans les pores des gisements de gaz classiques, est adsorbé d'un point de vue moléculaire dans la masse de carbone dont il est extrait.

⁹ A l'heure actuelle, tous les principaux navires en service peuvent être attribués à deux types de construction : le système Moss Rosenberg (réservoirs sphériques) et le système à membrane. Le produit du projet TDI RETE-GNL T.2.1.2 "Rapport pour la configuration de la demande" analyse la demande actuelle et future de la flotte, à laquelle il faut se référer pour plus de détails.

Regazéification: La dernière phase de l'ensemble de la chaîne du gaz naturel liquéfié est le processus de regazéification qui permette de faire passer le gaz naturel de son état liquide (GNL), utile pendant la phase de transport, à son état gazeux et comprimé (GNC), lui permettent le transport terrestre et la consommation finale. Les usines de regazéification peuvent être construites sur le sol (*onshore*¹⁰) ou en haute mer (*offshore*¹¹), sur des navires nommés particuliers *Floating Storage and Regasification Unit*¹² (FSRU), ou des unités de stockage et de regazéification flottantes.

Le processus commence par l'amarrage du navire de GNL au port d'importation où se trouve l'usine de regazéification. Le gaz est évacué du navire toujours en phase liquide puis stocké dans des réservoirs cryogéniques spéciaux en attente de traitement (pendant le stockage, le GNL maintient les mêmes conditions physiques que celles prévues pour le transport).

Le GNL est ensuite transféré vers l'installation de regazéification en étant d'abord envoyé à un vaporisateur constitué de plusieurs échangeurs de chaleur composés de faisceaux de tubes dans lesquels le GNL circule. Les échangeurs absorbent la chaleur de l'eau de mer et l'utilisent pour chauffer le GNL. L'augmentation de pression qui en résulte est gérée par des réservoirs d'expansion spéciaux et le gaz est ensuite introduit dans le réseau de distribution.

La conception des usines de regazéification est jugée plus souple que celle des usines de liquéfaction, car le processus de regazéification implique des opérations beaucoup moins complexes et consiste essentiellement à chauffer le GNL.

¹⁰ La première technologie à développer est celle relative aux usines à terre, cette configuration semble être la plus répandue et la plus consolidée. L'usine à terre est généralement construite près de la mer, souvent dans des zones adjacentes à une grande infrastructure portuaire qui peut faciliter le processus d'importation de GNL. L'usine se compose essentiellement de réservoirs cylindriques de stockage de GNL en alliage métallique entouré d'une structure en ciment et d'une installation de vaporisation généralement située plus loin de la côte. Les réservoirs de stockage sont reliés par des canalisations appropriées à un quai d'accostage pour l'accostage des méthaniers, tandis qu'en aval du vaporisateur il y a des canalisations spéciales qui permettent de relier l'usine au réseau de distribution.

¹¹ La technologie offshore se caractérise par d'importants profils d'innovation. Le premier terminal au monde construit selon cette philosophie de conception est le regazéifieur de terminal Adriatic LNG, au large de Rovigo près de Porto Levante. Cette usine est constituée d'une structure en béton armé dans laquelle sont logés deux réservoirs en acier. L'ouvrage, construit sur terre, a ensuite été transporté par mer jusqu'à l'endroit désigné et, par la suite, a été coulé avec un lest approprié. L'installation de vaporisation est logée sur la même structure, ainsi que l'installation qui permet l'amarrage des méthaniers, les composants auxiliaires du système et le logement de l'équipage. L'ouvrage est relié au réseau national de distribution de gaz par des conduites sous-marines appropriées.

¹² Les Floating Storage and Regasification Unit, contrairement aux cas précédents, nécessitent la construction d'une structure flottante sur laquelle des réservoirs spéciaux sont installés. Cette structure est ancrée aux fonds marins, à une certaine distance de la côte, et sert de réservoir flottant où les méthaniers accostent pour décharger le GNL. Dans la structure il y a aussi une usine pour la vaporisation du gaz naturel qui sera envoyé à terre, comprimé, par des pipelines sous-marins appropriés. Cette structure peut à son tour être un méthanier modifié de manière appropriée pour réaliser le processus mentionné ci-dessus.

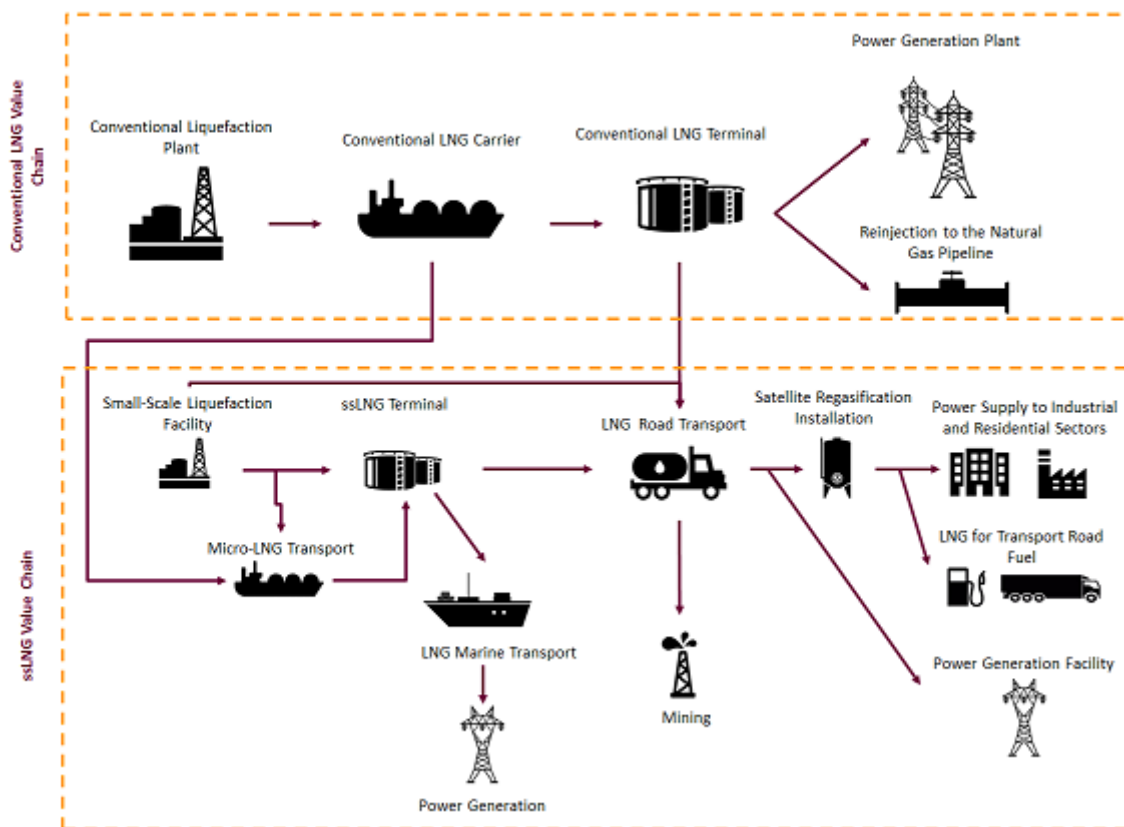
De plus, la principale décision à prendre en termes de configurations technologiques possibles concerne le choix des fluides de service à utiliser. À cet égard, les principales options sont les suivantes:

- ✓ Evaporateurs d'eau de mer en circuit ouvert ;
- ✓ Evaporateurs à brûleur immergé;
- ✓ Evaporateurs à fluide interposé;
- ✓ Evaporateurs de fluide à double utilisation (généralement du propane en circuit fermé et de l'eau en circuit ouvert).

Logistique de distribution : une fois le processus de regazéification terminé, le gaz est transporté par *pipeline* vers le marché intérieur afin de répondre à la demande d'utilisations civiles (par exemple logements, bureaux, etc.) ou industrielles. Au cours des dernières décennies, la construction de vastes réseaux de distribution capables de desservir même les petits centres urbains a considérablement accru la demande de GNL pour le chauffage de logements et de bâtiments commerciaux et industriels.

Dans le contexte des activités logistiques terrestres en aval par rapport à la phase portuaire, il existe également des activités de distribution de GNL liquide (pour l'alimentation des stations-service). Prenons, par exemple, la distribution de GNL par des camions-citernes fournis par des sites de stockage portuaires ou la logistique du GNL par des trains complets avec des wagons spéciaux partant des terminaux portuaires.

Figure 5. La chaîne d'approvisionnement en Gaz Naturel



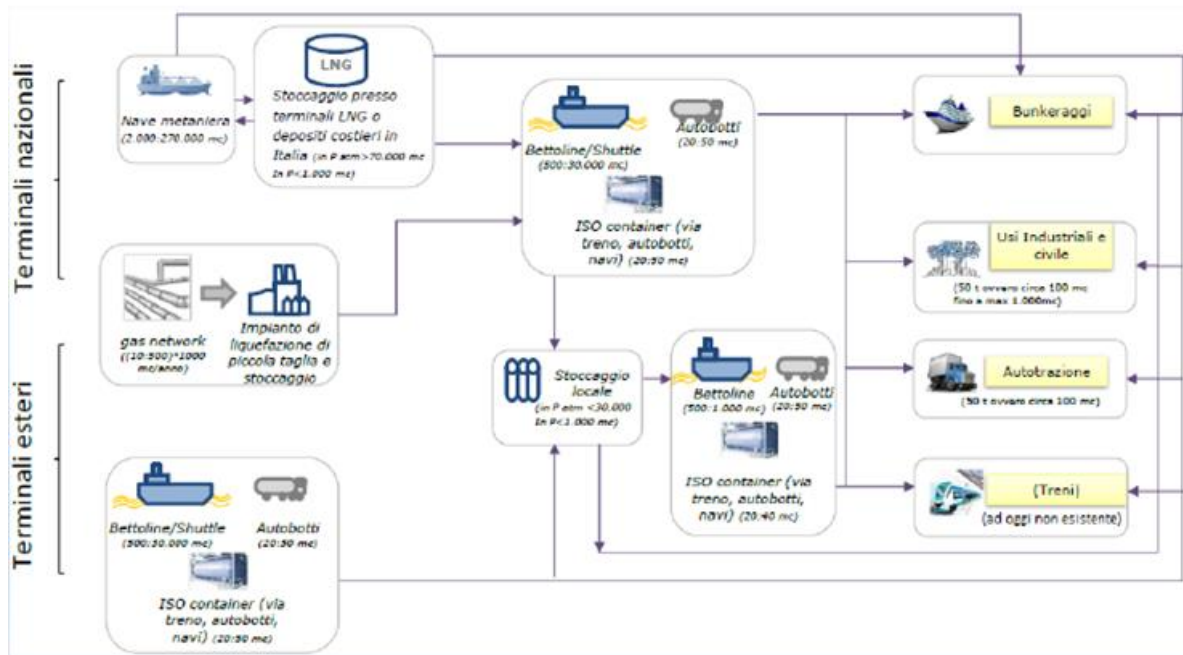
Source: <http://www.sia-partners.com>

En ce qui concerne la *supply chain* en GNL dans son ensemble, il est également important de s'attarder brièvement sur la **Small Scale LNG** (SSLNG). Ce terme désigne en fait la gestion à petite échelle du gaz naturel liquéfié qui a lieu aujourd'hui dans les terminaux de regazéification où le GNL est transformé en un état gazeux pour être ensuite placé dans le réseau de distribution national.

Au niveau national, le SSLNG prévoit trois méthodes de passation possibles :

- ✓ Le transport par métanière jusqu'au centre de stockage (d'une capacité supérieure à 70.000 mètres cubes pour le stockage à pression atmosphérique et inférieure à 10.000 mètres cubes dans le cas de réservoirs sous pression) auprès des terminaux GNL ou des dépôts côtiers situés en Italie.
- ✓ L'approvisionnement par le système de distribution de gaz naturel et l'utilisation ultérieure de petites installations de liquéfaction équipées de systèmes de stockage.
- ✓ L'approvisionnement à partir de terminaux externes grâce à l'utilisation de différentes solutions telles que barges / navettes, camions-citernes et conteneurs ISO.

Figure 6. Système de fourniture, de stockage et de distribution de GNL à petite échelle



Source: MISE, 2015 (“Documento di consultazione per una strategia Nazionale sul GNL”, Ministero dello Sviluppo Economico).

Dans tous les cas, la chaîne d'approvisionnement SSLNG prévoit également l'utilisation d'installations de stockage locales, fournies par des camions-citernes (ou conteneurs ISO) et / ou des navires de *bunkering* (barges / navettes), et le GNL stocké pourrait être utilisé à différentes fins, telles que le *bunkering* pour navires, à usage industriel et civil, ainsi que pour l'autotraction.

Compte tenu de ce qui précède, l'objectif de la section suivante est de vérifier l'identification des outils de gestion à appliquer dans les secteurs public et privé afin de soutenir le processus de prise de décision concernant l'introduction et la diffusion de GNL dans le secteur maritime et des ports.

Dans ce document, en particulier, l'utilisation de l'analyse SWOT est proposée afin d'évaluer des solutions technologiques alternatives pour l'offre de services de *bunkering* de GNL au sein de la chaîne aval du Small LNG LNG (SSLNG).

Premièrement, la méthodologie "Analyse SWOT" est introduite en tant qu'outil pour appuyer le processus de prise de décision lié à la planification intégrée et coordonnée des infrastructures pour le GNL. Ce type d'outil, comme détaillé dans la section suivante, semble convenir à un processus décisionnel (*decision making process*) caractérisé par :

- ✓ Participation de différents acteurs publics et privés qui adoptent parfois des critères différents pour la sélection des projets et des investissements ;

- ✓ Nécessité d'identifier la faisabilité économique et financière ainsi que l'évaluation des externalités sociales et multiples potentielles (négatives et positives), surtout au niveau environnemental ;
- ✓ Instances des communautés locales impliquées, notamment en ce qui concerne les questions de sécurité ;
- ✓ Instances liées aux profils de travail et de sécurité dans les zones opérationnelles correspondantes ;
- ✓ Coprésence potentielle de flux de véhicules et de personnes dans les zones opérationnelles ;
- ✓ Problèmes liés à la fiabilité globale des cycles opérationnels ;
- ✓ Instances et besoins, à caractère commercial et opérationnel, relatives aux armateurs ;
- ✓ Problèmes liés au financement de l'infrastructure et de ses structures de gouvernance ;
- ✓ Etc.

3. Analyse SWOT : profils méthodologiques et review de la littérature

L'économiste américain Humphrey a proposé à la fin des années '50 la *SWOT analysis* (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*), un outil de gestion visant à rationaliser les processus d'entreprise dans des contextes caractérisés par l'incertitude et une forte compétitivité.

Il s'agit d'un outil de gestion destiné à appuyer les choix stratégiques de l'entreprise, ce qui permet d'organiser ses processus décisionnels, en soulignant les éléments internes de force et de faiblesse, ainsi que les opportunités et les menaces découlant de facteurs externes (Piercy et Giles, 1989; Leigh et Pershing, 2006).

S.W.O.T. = Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
= Forces, faiblesses, opportunités, dangers

À partir des années '80, l'analyse SWOT a commencé à être appliquée également comme outil d'évaluation des interventions publiques afin de comparer les scénarios de développement alternatif ou d'intervention proposés par les décideurs politiques (*policy maker*).

Aujourd'hui, l'utilisation de cette technique s'est généralisée dans le cadre de diverses activités de gestion et de marketing, notamment en ce qui concerne l'analyse de marché et l'évaluation de stratégies de produits alternatifs (c'est-à-dire combien de *driver* et de variables externes peuvent représenter un facteur de succès essentiel pour l'entreprise ou l'organisation).

Cette technique permet de systématiser et de rationaliser la collecte ainsi que d'améliorer l'utilisation des informations pertinentes au sein d'un processus décisionnel, sans que le grand nombre de données et de variables incluses dans le processus connexe ne compromette la qualité du processus d'évaluation et, par conséquent, l'exactitude de la décision finale prise dans le cadre du processus en question.

De plus, du point de vue du timing, la technique SWOT peut être utilisée en référence à chaque étape du processus de prise de décision, afin de réduire les facteurs de risque et d'incertitude. Ces caractéristiques ont permis à l'analyse SWOT de s'établir rapidement dans l'évaluation de projets d'investissement privés, ainsi que dans les plans et programmes de développement régional, comme l'exigent également les réglementations de l'UE.

Le modèle vise en particulier à simplifier le processus d'évaluation en rendant systématique et utilisables les informations à la disposition des décideurs pour les choix stratégiques de croissance et de positionnement sur le marché.

Cependant, il est nécessaire de préciser immédiatement que, bien que ce modèle contribue de manière significative à la mesure des effets positifs et négatifs découlant d'un choix stratégique, il détermine en même temps, en particulier dans la phase préliminaire, une importante dépense de temps et d'énergie pour l'entreprise / entité publique chargée de l'évaluation. Par conséquent, il n'est pas rare que l'analyse soit déléguée à des sujets spécialisés externes, capables de définir

la structure méthodologique et de procéder en conséquence à l'évaluation de l'intervention / du projet examiné.

Compte tenu de ses caractéristiques, l'analyse SWOT est un outil particulièrement adapté à l'évaluation de la faisabilité économique et financière et de l'impact environnemental et / ou social des différentes **solutions technologiques** utilisées pour le **bunkering de GNL dans la zone portuaire**.

En particulier, le choix d'une solution technologique spécifique dépend non seulement des avantages intrinsèques qu'il est en mesure d'apporter en termes opérationnels (par exemple, volumes de GNL gérés, rapidité des opérations de bunkering, flexibilité opérationnelle, etc.), économie - financière (comprenant à la fois les dimensions liées aux investissements initiaux et aux dépenses en immobilisations - CAPEX - et celles liées aux dépenses d'exploitation - OPEX) et socio-environnementale, mais elle est également fonction d'une pluralité de facteurs externes et de dimensions situationnelles se rapportant à des spécificités du contexte empirique dans lequel la même solution technologique est appliquée.

En l'espèce, de ce point de vue, le choix de la solution technologique à adopter pour le bunkering de GNL dans la zone portuaire ne peut ignorer de manière préventive les variables exogènes relatives à la même technologie, telles que par exemple l'emplacement et la taille du port à l'étudier, les volumes de la demande en GNL, le degré d'acceptation des communautés locales en ce qui concerne la construction de nouvelles installations dans les zones portuaires proches de la ville, les spécificités de la législation applicable (au niveau communautaire, national ou territorial).

En ce sens, l'approche méthodologique attribuable à l'analyse SWOT permet d'exprimer une première évaluation de la manière dont les forces et les faiblesses associées à une solution donnée peuvent déterminer les opportunités ou les risques liés aux variables exogènes susmentionnées. Cela vous permet de:

- ✓ Évaluer conjointement les variables endogènes et exogènes au regard de la technologie qui sont pertinentes dans le contexte du choix ;
- ✓ Identifier les *driver* à considérer comme une priorité ;
- ✓ Sélectionner des critères de sélection ;
- ✓ Identifier, construire et surveiller des indicateurs de performance (KPIs) utiles à la collecte et à la diffusion de l'information.

3.1. Review de la littérature

Avant d'aborder la méthodologie et l'examen des différentes technologies de bunkering du GNL, une revue de la littérature académique sur l'utilisation de l'analyse SWOT dans la zone portuaire est proposée ci-dessous, en se concentrant sur l'utilisation de cet outil en relation à l'évaluation des interventions ou des investissements liés à l'introduction et/ou à la diffusion des nouvelles technologies.

L'objectif est de proposer l'utilisation de cet outil d'analyse managériale pour soutenir les décisions prises de différentes manières par les décideurs publics, les décideurs politiques, les responsables politiques, les autorités compétentes, les opérateurs privés, en référence à la planification de l'infrastructure GNL dans la zone cible.

Les partenaires du projet ont partagé l'idée de développer dans un premier temps un outil agile pour soutenir l'examen des alternatives technologiques disponibles, tout en devant adapter le choix aux conditions exogènes du contexte variable. L'examen de la littérature antérieure sur le sujet, suggère que l'utilisation de cet outil tant académique que pratique a déjà été appliquée aux problèmes et à l'étude des phénomènes qui présentent homogénéité par rapport au domaine d'application visé dans cet article.

L'examen de l'état de l'art en la matière indique donc qu'il est possible d'appliquer l'analyse SWOT comme outil d'évaluation des projets technologiques et des investissements dans le secteur portuaire maritime. Cette technique, comparée aux autres méthodes d'évaluation adoptées dans le secteur économique et commercial, est indiquée pour analyser l'impact généré par chacune des solutions techniques et technologiques retenues pour les opérations de *bunkering* de gaz naturel liquéfié (GNL) dans le secteur portuaire sous différents profils (environnemental, social, opérationnel, économique et financier, etc.) et avec la possibilité d'adopter des perspectives différentes (acteurs publics vs parties privées; gestionnaires; autorités compétentes; administration; collectivités locales, etc.). A ce fin-la, l'analyse de la littérature universitaire a été effectuée à l'aide de la technique de la *revue systématique de la littérature* (Tranfield et al, 2003).

Cette approche méthodologique, largement utilisée et formellement reconnue par le secteur scientifico-universitaire, permet d'identifier les contributions scientifiques les plus pertinentes sur le sujet étudié (dans le cas d'espèce, l'utilisation de l'analyse SWOT comme outil d'évaluation des technologies de *bunkering* dans le secteur portuaire maritime)¹³.

Conformément aux objectifs de cette étude, la *revue systématique de la littérature* a été réalisée en utilisant la base de données Scopus, fournie par Elsevier (l'un des éditeurs internationaux les plus importants dans le domaine académique et scientifique). L'échantillon analysé, composé des contributions scientifiques les plus pertinentes sur le sujet, a été réalisé par un processus méthodologique minutieux divisé en trois phases (Crossan et Apaydin, 2010 ; Tranfield et al. 2003) :

- i. Planification;
- ii. Exécution;
- iii. Analyse.

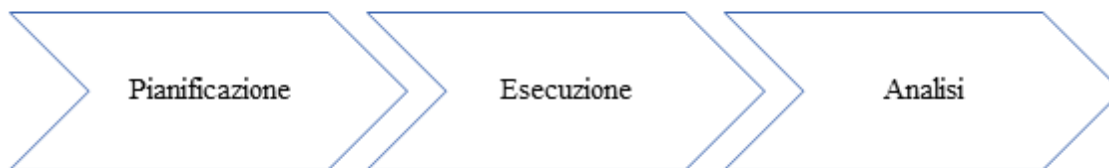
¹³ Par conséquent, la revue systématique de la littérature s'avère être un outil valable non seulement pour approfondir des sujets d'étude spécifiques, mais aussi pour détecter les sujets les plus débattus dans la littérature, ainsi que les lacunes scientifiques et académiques les plus significatives.

Au cours de la phase de planification (i), les limites de la *revue systématique de la littérature* ont été délimitées (pour délimiter le champ de recherche) et, en particulier, les critères de sélection des contributions et articles scientifiques. D'autres types de documents académiques, tels que les thèses de doctorat et les chapitres de livres, qui, contrairement aux articles sur la revue, ne garantissent pas toujours un niveau élevé de qualité et une étude approfondie des sujets traités, ont donc été exclus.

Toutefois, en raison du petit nombre d'articles sur le thème spécifique du *bunkering* en GNL dans la zone portuaire maritime, la révision a été étendue par la suite aux "*documents de conférence*", étant donné leur grande importance, notamment du point de vue du caractère novateur des sujets couverts et des objectifs de recherche déclarés et poursuivis.

Dans le cadre de la sélection des contributions scientifiques (qui sont les documents analysés dans la revue de la littérature), deux autres contraintes ont également été imposées à la recherche, à savoir la "langue anglaise" du texte, afin d'étendre l'échantillon au niveau international, et la période (de 1990 à la date de la dernière extraction), afin d'exclure les contributions trop anciennes.

Figure 7. Processus méthodologique de revue systématique de la littérature



Fonte: ns elaborazione

Dans la deuxième phase (exécution, ii), des requêtes ont été effectuées pour l'extraction des contributions scientifiques de la base de données Scopus.

Dans ce cas, les combinaisons de "mots clés" utilisées pour cette opération concernent les thèmes de recherche du produit actuel du projet TDI RETE-GNL, à savoir l'analyse SWOT et les technologies pour le *bunkering* en GNL dans la zone portuaire maritime.

L'extraction a été effectuée en utilisant les combinaisons suivantes de "mots-clés", recherchés dans les champs "titre", "résumé" ou "mots-clés" de la base Scopus :

- i. SWOT– LNG
- ii. SWOT – port
- iii. SWOT – technologie/innovation
- iv. SWOT – bunkering
- v. SWOT – port - investissement/projet

Ces "mots-clés" ont été sélectionnés par l'équipe du projet à l'issue de consultations et de réunions internes afin de sélectionner la meilleure stratégie d'extraction de données de la plateforme Scopus. Les combinaisons de mots choisis visent à limiter la recherche aux seules

contributions pertinentes au sujet à l'étude, afin de rendre l'analyse documentaire systématique conforme aux objectifs de la recherche.

L'échantillon ainsi obtenu est constitué de 51 contributions (tableau 3.1), réparties en 33 articles dans des revues (Papers) et 18 articles de conférence, couvrant une période allant de 1993 à 2019¹⁴.

Tableau 1. SWOT L'analyse comme outil de gestion pour l'évaluation des technologies alternatives ou dans la zone portuaire dans les études universitaires

Tipo di documento	Numero di contributi
<i>Paper</i>	33
<i>Conference Paper</i>	18
Totale complessivo	51

Fonte: ns elaborazione

Après une lecture attentive de chacune des 51 contributions scientifiques par au moins trois membres du groupe de travail de l'équipe CIELI-UNIGE, un label spécifique a été attribué aux documents considérés comme les plus significatifs pour ce projet de recherche.

Dans ce cas, 19 articles (37 % de l'échantillon) ont été sélectionnés pour une étude approfondie en raison de la pertinence de la contribution scientifique apportée tant du point de vue de la gestion que du point de vue de l'ingénierie technique (Tableau 2), ont ensuite été examinés dans la troisième phase du processus systématique de revue documentaire (Crossan et Apaydin, 2010).

¹⁴ Jusqu'au 05.04.2019

Tableau 2. Échantillon de contributions scientifiques analysées

Tipologia di documento	Titolo	Autore	Anno	Fonte
Article	A novel policy making aid model for the development of LNG fuelled ships	Wan C., Yan X., Zhang D., Yang Z.	2019	Transportation Research Part A: Policy and Practice
Article	A proposed innovation strategy for Turkish port administration policy via information technology	Keceli Y.	2011	Maritime Policy and Management
Conference Paper	A study on Vietnamese container ports: Analysis, evaluations, and suggestions	Le Q.-L.N., Do N.-H., Kim T.-W., Nam K.-C.	2008	Proceedings of International Forum on Shipping, Ports and Airports, IFSPA 2008 - Trade-Based Global Supply Chain and Transport Logistics Hubs: Trends and Future Development
Article	Application of a quantification SWOT analytical method	Chang H.-H., Huang W.-C.	2006	Mathematical and Computer Modelling
Article	Application of axiomatic design and TOPSIS methodologies under fuzzy environment for proposing competitive strategies on Turkish container ports in maritime transportation network	Celik M., Cebi S., Kahraman C., Er I.D.	2009	Expert Systems with Applications
Article	Emerging LNG-fuelled ships in the Chinese shipping industry: a hybrid analysis on its prospects	Wan C., Yan X., Zhang D., Shi J., Fu S., Ng A.K.Y.	2015	WMU Journal of Maritime Affairs
Conference Paper	Operation management of port logistics in the global supply Chain	Chou C.-C., Ding J.-F., Chang T.-M., Wong C.-P., Lin W.-C., Wang C.-Y., Chang W.-C., Lin C.-Y., Chang K.-E.	2013	Advanced Materials Research
Conference Paper	Perspective of LNG in Asia & Pacific - Three Decades since the Alaskan Project and the Future	Ohashi T.	2000	Gastech Conference Proceedings
Conference Paper	Research on seaport cluster strategy of Qingdao ports based on SWOT analysis	Han S.L., Wang Y.Y., Liu X.F., Wu Y.W.	2013	Advanced Materials Research
Article	Review of “the chinese belt and road initiative”: Indonesia-china cooperation and future opportunities for indonesia’s port cities development	Lovina H.R., Jiajia G., Chen H.	2017	Journal of Regional and City Planning
Article	Structural analysis of development capabilities of the port as a potential container port within MoS services	Rathman D., Debelić B., Stumpf G.	2014	Pomorstvo
Article	SWOT analysis applied to a high risk area as a strategy to increase sustainable local value chain	Leanza A., Bonanno S., Suriano E., Amara G., Gigli C.	2017	Procedia Environmental Science, Engineering and Management

Conference Paper	SWOT analysis of China's port chemical industry	Xiao B.	2013	Applied Mechanics and Materials
Article	Swot analysis of deficiencies on ship components identified by port state control inspections with the aim to improve the safety of maritime navigation	Randić M., Matika D., Možnik D.	2015	Brodogradnja
Conference Paper	Taicang Terminal's logistics competitiveness: SWOT analysis and implications	Fan K., Chen Y.	2007	International Conference on Transportation Engineering 2007, ICTE 2007
Conference Paper	The impact of natural gas geopolitics in world gas sustainable markets: Opportunities for iran's developing gas industries	Bahmannia G., Abgoon N.	2009	International Gas Union World Gas Conference Papers
Article	The implementation of ballast water management in Port of Tanjung Emas semarang: Strategy and model	Tjahjono A., Handoko W.	2018	AAFL Bioflux
Article	The long-term port development strategy planning elements	Mezak V., Perić A., Jugović A.	2006	Pomorstvo
Conference Paper	The research of port competitive strategies based on quantified SWOT analysis	Zhou M., Yang J.	2011	International Conference on Management and Service Science, MASS 2011

Source: nt élaboration

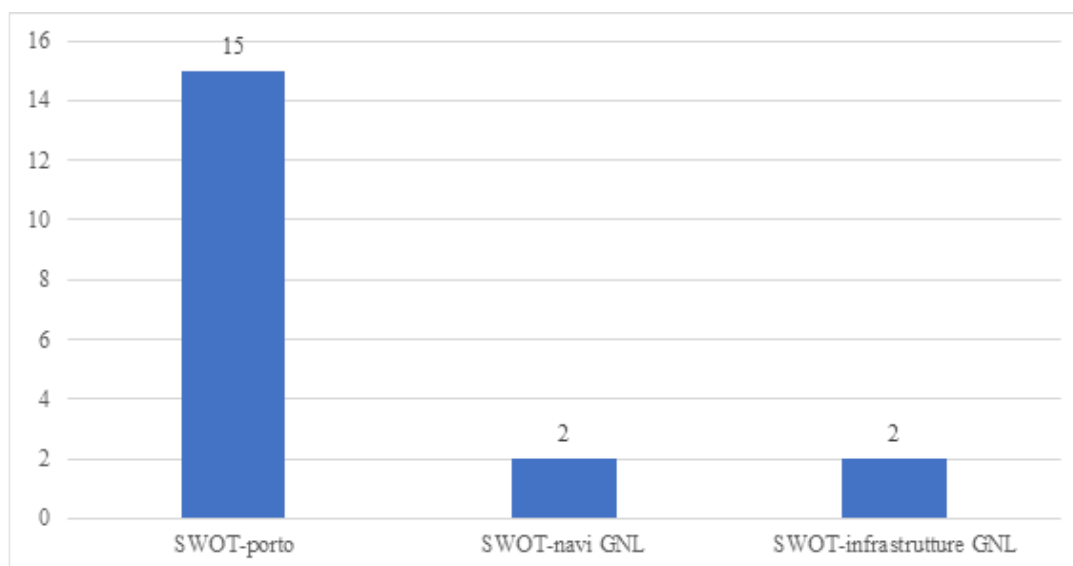
Dans la troisième phase du processus de revues systématiques de la littérature selon les profils procéduraux prévus dans la littérature (Crossan et Apaydin, 2010), les résultats de l'analyse effectuée sur l'échantillon constitué des contributions scientifiques les plus significatives sont présentés (19 documents).

L'échantillon couvre une période de 19 ans (2000-2019). En détail, environ 50% des contributions (10) ont été publiées au cours des 5 dernières années, témoignant de l'intérêt croissant des universitaires et des professionnels pour cette technique d'évaluation de scénarios alternatifs par rapport aux nouvelles technologies et aux investissements connexes dans les ports maritimes.

Afin d'approfondir les principaux arguments dans les différentes contributions examinées, une autre étiquette a été attribuée, qui catégorise l'objet spécifique de l'analyse SWOT (Tab.3.2). Cela dit, les trois étiquettes suivantes ont été définies :

- ✓ SWOT-port : Analyse SOWT utilisée pour les investissements dans les ports.
- ✓ SWOT- Navire LNG: analyse SWOT.
- ✓ Infrastructure SWOT-LNG: analyse SWOT pour évaluer les projets d'infrastructure visant à étendre le réseau de distribution de GNL.

Tableau 3. Principaux domaines d'application de l'analyse SWOT dans la littérature relative au secteur maritime-portuaire



Source: nt. élaboration.

La catégorie la plus peuplée est composée de contributions scientifiques axées sur l'évaluation des investissements et des projets dans la zone portuaire, correspondant au label "SWOT-port" (79% de l'échantillon). Dans ces contributions scientifiques, l'analyse SWOT est principalement utilisée pour déterminer l'efficacité des interventions prévues dans la zone portuaire. En particulier, Chang et Huang (2006) ont mené une étude pour évaluer la compétitivité des ports à conteneurs d'Extrême-Orient à travers une analyse SWOT des

stratégies et investissements prévus par chacun des terminaux sélectionnés. De même, Celik et al. (2009) ont identifié les principaux facteurs de succès des stratégies de croissance des ports à conteneurs Turcs. Dans ce cas, l'analyse SWOT a permis de mettre en évidence les facteurs critiques liés à la gestion des terminaux et les limites de l'administration de l'Etat, en suggérant également d'éventuelles interventions normatives pour soutenir l'industrie portuaire maritime, qui sont configurées comme des opportunités (ou "synergies") dans la classification proposée par la méthodologie *SWOT*.

Cette technique a également été utilisée pour évaluer les investissements caractérisés par un haut niveau de contenu technologique et d'innovation dans la zone portuaire, validant l'utilité d'un outil de support de gestion flexible et agile, qui peut aider à l'analyse dans des contextes hautement dynamiques et compétitifs, tels que les secteurs *high-tech*, scientifiques ou très innovants. La prise de décision dans ce type de contexte est en effet rendue encore plus complexe par la présence d'une multiplicité de variables exogènes qu'il est encore nécessaire de prendre en compte. Ce profil est examiné par Keceli (2011), qui propose une analyse SWOT pour estimer l'efficacité des plates-formes ICT (Technologies de l'Information et de la Communication) à l'appui des activités portuaires. L'auteur, pour tester la méthodologie proposée, utilise des études de cas spécifiques, qui prennent en compte différents facteurs externes du contexte, qui sont configurés comme "opportunités" et/ou "menaces" pour le développement de ces plateformes.

Les contributions scientifiques intitulées SWOT-LNG ships (2) évaluent les perspectives d'avenir à moyen et long terme des navires alimentés au GNL, en utilisant l'analyse SWOT comme outil pour comparer différents scénarios possibles. A cette fin, l'analyse inclut à la fois les caractéristiques et les forces/faiblesses inhérentes à la solution de propulsion de navire mentionnée ci-dessus et les implications en termes d'investissements infrastructurels et technologiques requis par les terminaux portuaires pour soutenir la croissance du GNL dans le secteur maritime. A cet égard, Wan et ses collaborateurs (2015) soulignent le rôle crucial joué par les parties prenantes et les organismes de réglementation: en particulier, les conditions contextuelles sont incluses en tant qu'éléments à affecter en tant que "opportunités" et "menaces" dans la matrice SWOT.

Le label SWOT- infrastructure GNL regroupe deux contributions scientifiques qui utilisent l'analyse SWOT dans le cadre de processus décisionnels et de domaines d'application plus larges. Ohashi (2000) décrit l'impact du transport maritime de GNL sur les économies du Japon et de l'Alaska. L'analyse SWOT est appliquée pour appuyer les choix de prix ainsi que les décisions relatives aux accords commerciaux entre les deux pays, en tenant compte des volumes de trafic générés, des infrastructures en exploitation et en construction, et des avantages économiques et environnementaux déterminés par l'utilisation du GNL. Bahmannia et Abgoon (2010), d'autre part, utilisent l'analyse SWOT pour évaluer les projets du gouvernement iranien visant à développer le réseau de distribution de GNL dans le pays. Cette fin, des investissements pour la construction de nouvelles usines de regazéification et de

pipelines connexes sont envisagés, en examinant attentivement les coûts, les priorités stratégiques et les politiques de soutien pour chacune des différentes interventions.

3.2. Implications liées à la littérature review

Dans l'ensemble, à partir de l'étude de la littérature pertinente sur le sujet de l'étude il en ressort que :

- ✓ L'analyse SWOT peut être un outil utile pour évaluer les projets et les investissements portuaires, en particulier pour les interventions technologiques avec un degré d'incertitude plus élevé.
- ✓ L'analyse SWOT permet aux différents décideurs impliqués dans le processus décisionnel d'inclure dans l'évaluation préliminaire à la fois les facteurs endogènes, liés à la solution technologique spécifique potentiellement sélectionnable, et ceux exogènes du contexte social, économique, environnemental et technico-opérationnel dans lequel la solution technologique est appliquée.

Ceci est particulièrement utile dans les phases initiales de planification et de conception des infrastructures et des solutions technico-technologiques à préparer et par rapport aux choix d'investissement qui ont des implications à la fois économiques et financières pour les opérateurs privés concernés, et socio-économiques pour les ports et les communautés locales qui les accueillent.

Ces facteurs (comme nous le verrons plus loin) ne peuvent ne pas prendre en compte :

- i. les spécificités et les facteurs réglementaires qui caractérisent la zone portuaire effectivement soumise à évaluation ;
- ii. les restrictions et les opportunités qui peuvent être rattachées aux options technologiques et opérationnelles qui peuvent effectivement être mises en œuvre en raison des caractéristiques physico-techniques et de l'accessibilité et de la mobilité au niveau portuaire ;
- iii. les besoins et exigences spécifiquement exprimés par la demande des armateurs et celle provenant d'autres segments potentiels (usages industriels et civils, etc.).

Au niveau académique, l'analyse SWOT s'avère également être une approche innovante avec une référence spécifique à l'évaluation des investissements pour les installations de bunkering, car elle n'est pas utilisée analytiquement par la littérature précédente à ces fins¹⁵.

Dans le cadre du projet TDI RETE-GNL, l'analyse SWOT peut apporter une contribution significative au soutien des évaluations de certaines catégories d'acteurs impliqués dans le processus décisionnel relatif à l'évaluation et à la planification des investissements et des projets visant de nouvelles solutions de ravitaillement pour le GNL..

¹⁵ La combinaison de "SWOT - bunkering" sur la plate-forme Scopus n'a donné aucun résultat.

L'analyse SWOT est donc un outil en ligne avec l'adoption d'une logique de gestion stratégique (Stakeholder Relationship Management – SRM)¹⁶ des relations avec les différents acteurs concernés dans le cadre de ce type de projet ou d'investissement en infrastructures.

3.3. Analyse SWOT des technologies pour le bunkering de GNL en zone portuaire: cadre conceptuel et méthodologie

A la lumière des résultats obtenus dans le cadre de la *literature review* réalisée, l'analyse SWOT permet de comparer soigneusement les principales options technologiques utilisées au niveau international, européen et national pour le bunkering et le stockage (*storage*) du GNL dans la zone port maritime. Par conséquent, en se concentrant sur les dimensions et les profils technologiques SSLNG pertinents, l'évaluation de la faisabilité technique et opérationnelle et de l'opportunité d'utiliser une certaine solution technologique de bunkering dans la zone portuaire, doit évidemment également prendre en compte les profils de risque et d'opportunité qui découlent de la nature de l'infrastructure du réseau qui caractérise le type de centrales à analyser.

Aux fins du projet et dans le cadre du produit T.1.1.1.2, l'analyse SWOT est ensuite appliquée pour examiner de manière générale les solutions technologiques de bunkering SSLNG suivantes, puis tester cette méthodologie sur des *business cases* et *business histories* :

- i. Trucks to Ship (TTS)
- ii. Ship to Ship (STS)
- iii. Port to Ship, Terminal to Ship ou par pipeline (PTS)
- iv. Mobile Fuel Tanks

D'un point de vue méthodologique, l'utilisation de l'analyse SWOT comporte deux phases fondamentales (Figure 8):

1. Phase préliminaire;
2. Phase d'évaluation

Phase préliminaire

La phase préliminaire comprend les activités les plus exigeantes du processus. Tout d'abord, il est essentiel d'encadrer correctement le phénomène observé à travers une étude visant à le comprendre en profondeur (en l'occurrence, le bunkering du GNL) et la définition des critères à utiliser pour réaliser l'évaluation. Néanmoins, il est nécessaire de définir le schéma conceptuel et les paramètres de mesure qui seront utilisés dans la phase d'évaluation suivante.

¹⁶ Si fa qui riferimento a soggetti quali quali policy makers, Autorità di Sistema Portuale (AdSP) e altre Port Authorities, regolatori, ecc.

Figure 8. Méthodologie : étapes du processus d'analyse SWOT



Source: nt élaboration.

Comme déjà mentionné, la phase préliminaire est le moment centrale de l'ensemble du processus d'évaluation, dont dépend la fiabilité des résultats obtenus. Le schéma conceptuel oblige les évaluateurs à suivre un processus méthodologiquement prédéfini et déjà partagé, qui doit être imperméable aux influences et facteurs externes susceptibles de modifier les résultats finaux obtenus au cours du travail. En d'autres termes, un "chemin" codifié est tracé afin d'être reproductible pour l'analyse des interventions et/ou des projets alternatifs.

Il est donc essentiel que, dans la phase préliminaire, que soient impliqués les parties prenantes et les experts qui ont une certaine expérience sur phénomène objet de l'étude (dans notre cas, l'adoption de solutions spécifiques de bunkering dans la zone maritime et portuaire par rapport au SSLNG), afin de contribuer activement à la définition des critères et paramètres d'évaluation à considérer dans l'analyse.

Ces critères et paramètres visent à mettre en évidence les caractéristiques de chaque option de l'échantillon examiné (c'est-à-dire les principales forces et faiblesses qui le caractérisent), ainsi que les relations et les synergies potentielles réalisables dans un contexte spécifique, en fonction de l'état actuel et des investissements antérieurs.

Dans cette perspective, les entreprises ou les organismes publics chargés de réaliser l'évaluation organisent souvent des brainstormings ad hoc, c'est-à-dire des réunions collectives avec la participation de spécialistes et de professionnels du secteur (même extérieur à l'organisation), visant à approfondir les enjeux en question et à avoir une vision globale du phénomène et du macro-environnement.

Cela dit, dans le cadre du projet TDI RETE-GNL, aux fins du produit T.1.1.2 des contacts ont été établis avec les différentes parties prenantes concernées, y compris les deux associations d'armateurs italiens, à savoir CONFITARMA et ASSARMATORS (en ce qui concerne les besoins du côté de la demande), le bureau technique de l'AdSP Mer Ligure occidentale (en référence aux besoins relatifs à la demande portuaire) et la société CNH INDUSTRIAL du groupe IVECO, afin de prendre en considération dans ces évaluations toute considération découlant des besoins liés au parc automobile GNL.

Ce document, dans le cadre des activités de communication ainsi que de diffusion et de capitalisation des résultats, sera donc partagé et affiné par les groupes d'acteurs du projet, selon le calendrier et les modalités prévus par la forme et établis par les organes de gestion du projet.

Phase d'évaluation

En règle générale, à la suite de cette activité, les critères et paramètres à utiliser pour mettre en œuvre la phase d'évaluation conduisant à la préparation de la version matricielle de l'analyse SWOT sont détaillés.

La matrice SWOT, en particulier, se compose de quatre cadrans, comme indiqué ci-dessous :

- i. Forces (*Strengths*)
- ii. Faiblesses (*Weaknesses*)
- iii. Opportunités (*Opportunities*)
- iv. Menaces (*Threats*)

Cette approche permet d'identifier, pour une entreprise, une organisation ou, dans le cas d'espèce, une technologie donnée, les variables intrinsèques (ou endogènes), c'est-à-dire les forces et les faiblesses, et les variables extrinsèques (ou exogènes) qui peuvent constituer des "opportunités" et des "menaces" également en raison des variables endogènes mentionnées ci-dessus, qui peuvent influencer le succès de la l'entreprise, de l'organisation ou l'adoption de certaines options.

Dans ce cas, puisque l'utilisation de l'analyse SWOT vise l'étude des solutions technologiques possibles pour le bunkering du GNL dans la zone maritime et portuaire, les facteurs endogènes peuvent être définis comme les variables et caractéristiques intrinsèques que chaque solution technologique présente, alors que les facteurs exogènes sont principalement liés au contexte socio-économique externe dans lequel la technologie en question doit être adoptée. Ces facteurs et variables ne sont pas toujours directement gouvernables et peuvent être considérés comme des contraintes, des restrictions, des opportunités à utiliser pour soutenir le choix de la solution technologique à adopter.

La méthode proposée (analyse SWOT), en revanche, grâce à la systématisation des informations et des données pertinentes pour la décision, collectées selon les méthodes imposées au niveau méthodologique, permet au management public et privé, aux décideurs politiques et aux différents décideurs impliqués de suivre en permanence les variables endogènes et exogènes pertinentes pour le projet, permettant d'exploiter toutes nouvelles synergies positives et de prévenir ou atténuer ses effets négatifs. Cela implique que l'analyse SWOT peut être utilisée à l'avance, avant de faire un choix stratégique délicat, mais aussi en cours de travail pour évaluer les résultats obtenus et apporter des changements.

Dans l'environnement de l'entreprise et du management (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), les "forces" (*Strengths*) peuvent être liés à différentes typologies. De ce point de vue, on peut les diviser en deux catégories :

- ✓ “*hard strengths*”, les facteurs d'avantage concurrentiel d'une valeur primordiale pour l'entreprise (par exemple, la disponibilité des ressources financières, le savoir-faire technologique, la marque, etc ;)
- ✓ “*soft strengths*”, qui présentent des caractéristiques qui ne sont pas de première importance (par exemple, les ressources humaines, la culture d'entreprise, la structure organisationnelle, les liens avec les fournisseurs, etc.)

Cette catégorisation permet, dans le cas d'une évaluation réalisée par une entreprise, de permettre à la direction de procéder à une analyse approfondie de ses forces internes, mettant en lumière certains éléments jusqu'alors sous-estimés. La même approche peut être utilisée dans l'étude des forces qui peuvent caractériser l'utilisation d'une certaine technologie pour le bunkering dans la zone portuaire.

De même, la procédure est également reproduite afin d'identifier les éléments de "faiblesse", divisés en :

- ✓ “*hard weaknesses*”
- ✓ “*soft weaknesses*”(difficile à reconnaître).

Figure 9. Matrice SWOT: exemple d'application dans un environnement d'entreprise

SWOT ANALYSIS		ANALISI INTERNA	
		Forze	Debolezze
ANALISI ESTERNA	Opportunità	1 Strategie S-O: Sviluppare nuove metodologie in grado di sfruttare i punti di forza dell'azienda.	2 Strategie W-O: Eliminare le debolezze per attivare nuove opportunità.
	Minacce	3 Strategie S-T: Sfruttare i punti di forza per difendersi dalle minacce	4 Strategie W-T: Individuare piani di difesa per evitare che le minacce esterne acuiscano i punti di debolezza.

Source: nt elaboration.

Il est ainsi possible d'identifier les principaux points critiques et problèmes de nature endogène par rapport à la technologie examinée. Étant donné que l'analyse SWOT peut être adoptée par différents groupes d'acteurs concernés dans le contexte en question, il est nécessaire que l'examen des forces et des faiblesses liées à l'introduction d'une certaine solution technologique dans le contexte du bunkering de GNL dans la zone portuaire, considère les principaux profils inhérents à la structure organisationnelle, financière, relationnelle, productive et environnementale des différents acteurs concernés, ayant ainsi la possibilité d'intervenir pour apporter des corrections ciblées.

L'évaluation des facteurs socioéconomiques, politiques, environnementaux et démographiques de l'environnement extérieur fait ressortir les opportunités et les menaces. En particulier, les opportunités sont liées aux avantages qui peuvent être obtenus si le projet est réalisé (par exemple, ouverture de nouveaux marchés, économies d'échelle, disponibilité de nouvelles technologies, synergies, etc.), c'est-à-dire une estimation de la position concurrentielle que l'entreprise peut viser à atteindre. Les menaces, en revanche, sont les dangers et les risques potentiels auxquels l'entreprise est exposée en choisissant un projet spécifique. Par conséquent, la direction est appelée à circonscrire et, si possible, à éliminer ces menaces, y compris le niveau de chômage, l'incertitude politique, l'instabilité du marché, la concurrence accrue dans le secteur, etc.

La matrice SWOT par rapport au sujet de l'étude, c'est-à-dire le choix de la ou des solutions à adopter pour le bunkering SSLNG dans l'environnement maritime et portuaire, peut également être préparée en se référant à chaque solution technologique évaluée et en supposant différentes perspectives d'évaluation :

- Le point de vue des politiciens et des administrateurs appelés à faire un choix en matière de planification et de coordination ;
- Le point de vue des différentes autorités compétentes concernées (par exemple, les AdPS)
- Le point de vue des entités privées souhaitant réaliser des investissements liés à la fourniture de services de bunkering de GNL dans la zone maritime et portuaire,
- Le point de vue des armateurs utilisateurs des installations en question.

A la lumière de la systématisation de la phase préliminaire, les facteurs endogènes et exogènes détectés et estimés sont organisés selon une logique matricielle afin d'améliorer leur compréhension dans une perspective globale. Cette approche permet également de définir la stratégie la plus appropriée pour chacune des quatre situations rapportées dans la matrice. L'objectif de l'entreprise est de valoriser les forces et d'exploiter les opportunités offertes par l'environnement extérieur par rapport à chaque solution technologique potentielle (d'abord) et celle effectivement choisie (plus tard), en se défendant contre toute menace de l'environnement.

En résumé, l'analyse SWOT est confirmée comme un outil valable tant pour la définition des stratégies d'entreprise que pour l'évaluation de projets d'investissement spécifiques. L'aspect critique qui ressort cependant est la subjectivité de certaines évaluations, notamment en ce qui concerne les facteurs exogènes, qui sont souvent difficiles à mesurer. Dans le cas d'espèce, l'analyse est configurée comme une technique d'évaluation utile pour sélectionner l'option technologique la plus appropriée pour le bunkering du GNL dans les ports de la zone cible.

Compte tenu des caractéristiques et des facteurs du contexte socio-économique, réglementaire et environnemental des régions Ligurie, Toscane, Sardaigne, Corse et PACA, l'application de la méthodologie "SWOT" permet de mettre en évidence (à un niveau général et en référence à des hypothèses de projets spécifiques) les principaux avantages intrinsèques de chaque option technologique examinée, c'est-à-dire de Trucks to Ship (TTS), Ship to Ship (STS), Port to

Ship (PTS) et Mobile Fuel Tanks, ainsi que les faiblesses, en mettant l'accent sur les aspects liés à l'efficacité opérationnelle, les profils économiques et financiers et l'impact socio-environnemental généré.

Avant d'analyser en détail chaque configuration technologique pour le bunkering et les relatives procédures (voir les sous-sections suivantes), sont reportées ci-dessous les macro-catégories auxquelles ont été liées les caractéristiques de chaque configuration technologique pour le bunkering du GNL faisant l'objet de l'analyse SWOT, afin de mettre en évidence les principales différences qui existent entre ces dernières. Notamment, les caractéristiques analysées peuvent être retracées aux catégories suivantes :

- ✓ Capacité de stockage/transport : Cet élément vous permet de quantifier le volume de GNL stocké par la configuration spécifique examinée, qu'il s'agisse du volume du moyen de ravitaillement ou du dépôt de stockage ;
- ✓ Efficacité des opérations de bunkering : cet élément comprend tous les aspects concernant la capacité de la solution technologique choisie à fonctionner dans différentes situations (par exemple, dans des conditions météorologiques défavorables) ou la possibilité d'effectuer des opérations simultanées ;
- ✓ Évolutivité du système : cet élément est très important, surtout en perspective, pour évaluer la capacité de la centrale à s'adapter à l'évolution des conditions environnantes, comme l'évolution des besoins du marché ;
- ✓ Flexibilité : la flexibilité diffère de l'extensibilité, bien qu'elle soit une caractéristique similaire à l'élément précédent, en ce sens qu'elle est comprise comme la capacité de l'usine à s'adapter aux besoins spécifiques du présent, c'est-à-dire à la variation des différents besoins du marché actuel ;
- ✓ Investissements et profils économique-financiers requis : cet élément, qui pourrait être défini de manière plus appropriée comme "implications économique-financières", comprend les investissements en CAPEX¹⁷, OPEX¹⁸ et les coûts de maintenance associés à chaque configuration examinée.
- ✓ Exigences propres au système : cette rubrique regroupe tous les aspects qui définissent les exigences spécifiques, tant techniques (zones occupées, accessibilité...) que réglementaires et de sécurité, des différents types de configuration.
- ✓ Sécurité et risques.
- ✓ Impact environnemental et externalités.

¹⁷ Les Capex (CAPital EXpenditure), représentent les dépenses d'investissement, c'est-à-dire les coûts encourus par l'entreprise pour acheter, entretenir ou mettre en œuvre ses actifs (bâtiments, terrains, installations ou équipements). En général, les Capex sont définies comme des dépenses liées à l'achat d'un nouvel actif ou à des investissements visant à prolonger la vie utile d'un actif déjà détenu.

¹⁸ Les OPEX (OPerating EXpense), représentent les dépenses encourues par l'entreprise pour gérer un produit, un actif ou une activité spécifique ; elles comprennent les coûts d'exploitation, de maintenance et de gestion.

Figure 10. Liste des macro-catégories pour l'analyse des caractéristiques des technologies de soutage du GNL



Source: nt élaboration

Ces caractéristiques, combinées aux conditions contextuelles spécifiques, c'est-à-dire les variables exogènes qui distinguent la zone portuaire évaluée et par conséquent les besoins de la demande (en termes de services de bunkering de GNL), peuvent conduire à des résultats d'analyse SWOT différents. Les installations de stockage dans les hubs de bunkering du GNL sont généralement exploitées par des compagnies nationales de gaz naturel (souvent en mémoire d'une société d'État) et les entreprises de bunkering de GNL développent des contrats exclusifs pour leurs opérations de livraison (avec les armateurs intéressés par la fourniture de GNL en question). La plupart des installations de stockage onshore ont une capacité de remplissage importante (plus de 5 000 m³ /h). Un navire cargo moyen devrait transporter environ 3 000 m³ de GNL à bord (compte tenu de son unité de stockage). Toutefois, la capacité de déchargement du véhicule lors de la livraison du bunker de GNL a un impact significatif sur les performances et l'attractivité de la chaîne d'approvisionnement en GNL.

Par exemple, Engie Zeebrugge, une barge de bunkering du GNL, a une capacité de déchargement de 600 m³ /h, ce qui correspond à 5-6 heures de bunkering pour un navire cargo moyen. L'installation de pompes pour puits profonds permet d'améliorer la capacité jusqu'à 1.000 m³/h dans les projets à venir et de réduire considérablement le temps de bunkering. Les modèles Ship to Ship (STS) du bunkering du GNL offrent une capacité de transport et de déchargement suffisante pour la flotte actuelle. Quelques exemples empiriques montrent également que l'option TTS (Truck to Ship)¹⁹ et celle par canalisation (*pipeline*) peuvent être des solutions de bunkering appropriées (et parfois préférables) en fonction de certaines tailles de navires prévues pour l'approvisionnement et de spécificité de la région géographique dans laquelle le port est situé et de son positionnement par rapport à l'ensemble de la chaîne logistique de GNL.

¹⁹ Par exemple, une compagnie maritime nord-américaine (TOTE Maritime) a préféré la solution TTS. Compte tenu de la taille des navires dans cette opération, l'option camion est bien adaptée aux besoins de l'opérateur.

4. Analyse SWOT des configurations technologiques pour le bunkering du GNL

Après un examen de la littérature académique et de la documentation la plus récente utilisée par les experts en la matière sur les questions d'ingénierie technique et de gestion économique liées aux différentes configurations technologiques possibles pour le bunkering en GNL selon la logique SSLNG, ainsi que l'étude des multiples business cases liés à l'introduction et à la diffusion de ces solutions dans le domaine dans le cadre du bunkering du GNL au niveau international, européen ou national, le CF a procédé avec ses partenaires (P2, P3, P4 et P5) à identifier quatre solutions technologiques pour le *bunkering* du GNL. à cet effet, le groupe de recherche du CF (UNIGE-CIELI, P1) a examiné la documentation technique et scientifique pertinente sur le sujet (Näslund, 2012; DNV, 2014; DNV, 2015a; 2015b; MISE, 2015; EMSA, 2018):

- ✓ Truck to Ship (TTS)²⁰,
- ✓ Ship to Ship (STS)²¹, y compris les différents types de Floating LNG Terminals,
- ✓ Port to Ship (PTS) et de terminal à navire (PTS)²²,
- ✓ Mobile Fuel Tanks²³.

Ces configurations présentent un certain nombre de caractéristiques technologiques qui sont analysées ci-dessous afin de déterminer les forces et les faiblesses associées à chaque option.

De ce point de vue, l'attention est attirée ici sur les aspects d'organisation et de gestion qui, avec ceux de nature plus purement technique et opérationnelle, permettent d'identifier la solution de bunkering en GNL la plus appropriée par rapport aux caractéristiques spécifiques d'un port et à la spécificité de la demande de services de bunkering du SSLNG qui peuvent être remonté jusqu'à à celle-ci.

Ce résultat est obtenu grâce à l'utilisation de l'analyse SWOT de chaque configuration technique/technologique qui peut être adoptée (Figura 11 *Le quattro configurazioni di bunkering*, fournissant ainsi un cadre de synthèse utile capable de mettre en évidence les facteurs endogènes, c'est-à-dire les forces (*strengths*) et faiblesses, (*weaknesses*), et exogènes, c'est-à-

²⁰ Les solutions de type Truck to Ship (TTS) se basent sur l'utilisation du "LNG truck connected to the receiving ship on the quayside" (EMSA, 2018; p. 350) et demandent "a flexible hose, typically assisted by a hose-handling manual cantilever crane" (Satta et al. 2019).

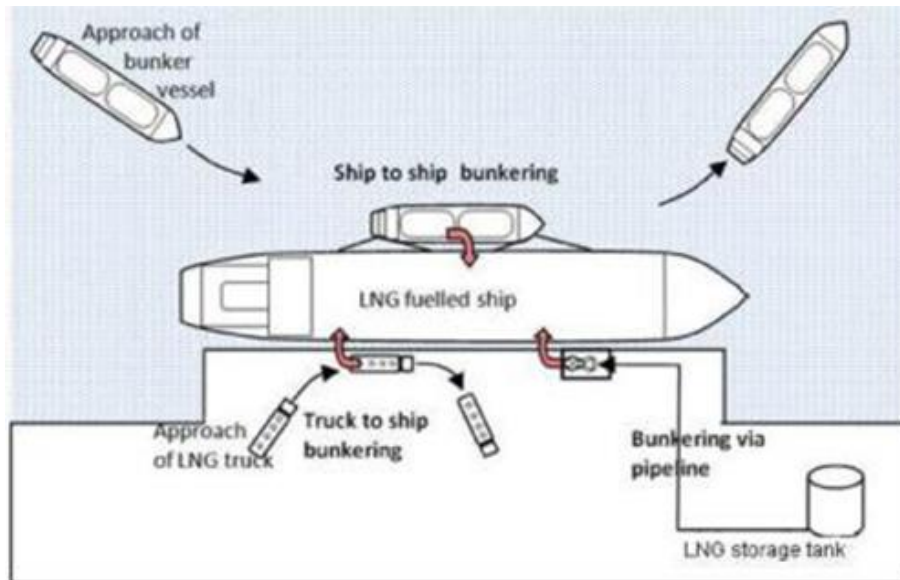
²¹ Dans la configuration STS, le GNL "is delivered to the receiving vessels by another ship, boat or barge, moored alongside on the opposite side to the quay" (EMSA, 2018; p. 353).

²² Dans les installations de stockages et bunkering du GNL de type Port-to-Ship (PTS), il GNL peut être réapprovisionné directement à travers "a small storage unit (LNG tank) of LNG fuel, small station, or from an import or export terminal" (EMSA, 2018; p. 355).

²³ La configuration du type Mobile fuel tank (MFT) "been introduced and patented by Wärtsilä in 2010. In particular, the Wärtsilä LNG Pac™ system is based on an IMO type C LNG storage tank with either double walled vacuum or single walled polyurethane insulation. In this technological configuration, the bunkering procedure takes place from the bunkering station to the LNG tank via an insulated pipe (Wärtsilä website, 2019)" (Satta et al. 2019).

dire les opportunités (*opportunities*) et menaces (*threats*) découlant du contexte externe, liés à chacune des quatre configurations retenues.

Figure 11 Les quatre configurations de soutage



Source: www.sspa.se

4.1. Configuration Truck to Ship (TTS)

La configuration de bunkering de GNL connue sous le nom de "Truck to Ship" (TTS) exige que le navire soit ravitaillé en carburant au moyen d'un camion-citerne pour le stockage et le transport du GNL. D'un point de vue opérationnel, le camion-citerne est positionné sur le quai à l'endroit prédéterminé pour le ravitaillement, conformément aux procédures de sécurité. Par la suite, des tuyaux flexibles d'un diamètre compris entre 2" et 3" (environ 5 et 7,5 cm respectivement) sont raccordés du camion aux réservoirs du navire, soutenus par des instruments spécifiques pour assurer la stabilité de la connexion et la sécurité des opérations (ABS, 2014)

Il est également possible d'utiliser une canalisation qui, comme dans le cas précédent, est équipée d'un camion-citerne, bien que pour des raisons de sécurité et de rapidité d'exploitation, la première solution soit préférable par raccordement direct. Le GNL est transféré au moyen d'une pompe installée sur le camion-citerne ou fixée extérieurement au camion-citerne au moment du ravitaillement, si ce dernier n'en est pas équipé.

Après le ravitaillement, le camion-citerne quitte le quai et se dirige vers les installations de stockage de GNL situées dans la zone la plus proche du port pour réapprovisionner les réservoirs en vue des opérations liées au prochain cycle opérationnel de réapprovisionnement (bunkering).

Contrairement aux opérations de ravitaillement effectuées à quai avec le même équipement que les véhicules terrestres, le remplissage des réservoirs des camions et des camion-citernes

s'effectue par les conduites flexibles de l'installation de stockage de GNL. Cette procédure permet d'accélérer et de simplifier le ravitaillement, bien qu'un contrôle constant de la température des réservoirs soit nécessaire, afin d'éviter qu'une fois transféré, le GNL s'évapore (c'est-à-dire lorsque la température des réservoirs est supérieure à -162°C).

Figure 12. Approvisionnement en GNL selon la configuration TTS



Source: <https://safety4sea.com> (2018)

Strengths

La principale force de la configuration de la technologie **TTS** réside dans les niveaux élevés de flexibilité et de réversibilité qui la caractérisent. La flexibilité de cette solution découle de l'absence d'investissements élevés visant à préparer et à soutenir uniquement cette solution technologique, réduisant ainsi les coûts potentiels irrécupérables (Sutton, 1991). D'un point de vue opérationnel, les procédures de ravitaillement peuvent être effectuées dans différentes zones ou quais du port en fonction des besoins, même temporaires et à court terme, des terminaux et navires nécessitant un ravitaillement en GNL.

La possibilité de changer de lieu de ravitaillement est également un aspect crucial du point de vue de la sécurité. En particulier, les opérations d'avitaillement peuvent également être effectuées dans des conditions météorologiques défavorables car le camion-citerne ou le camion-citerne peut être placé près des quais les plus abrités où le navire est amarré en permanence (Mar Tech LNG, 2014).

Ces caractéristiques font du TTS une solution particulièrement adaptée pour vérifier l'intérêt économique du développement d'un nouveau système d'avitaillement en GNL par les autorités locales, le port et les différents acteurs publics et privés lorsque les niveaux de demande attendus sont faibles et essentiellement attribuables à des segments de demande présentant des caractéristiques spécifiques (type de navire, capacité de l'offre du navire, besoins exprimés, données techniques du navire, etc.) Cette solution permet de réduire les investissements initiaux (qui risquent de devenir des coûts irrécupérables) mais elle n'est applicable que lorsque

les volumes globaux attendus de la demande sont assez limités et que l'armateur n'a pas de besoins spécifiques en termes de calendrier requis pour la réalisation des opérations de soutage.

La solution TTS peut être une solution "pilote" par rapport aux ports moyens et grands pour tester le marché de l'avitaillement en GNL, mais il est peu probable qu'elle soit la solution finale en cas d'augmentation des volumes.

Cette solution peut au contraire avoir des applications plus significatives par rapport aux petits ou moyens ports (en termes de volumes de demande attendus) et peut représenter un outil intéressant pour démarrer et encourager, avec des incitations spécifiques, la transition du transport maritime vers l'utilisation du GNL comme combustible marin.

La flexibilité de cette technologie permet notamment de partager l'investissement entre les différentes parties prenantes opérant dans les différentes zones portuaires. Les camions-citernes et les camions-citernes peuvent en effet se déplacer à la fois à l'intérieur des zones liées au port individuel et à l'extérieur entre différents ports (logique d'approvisionnement point à point), répondant ainsi à la demande d'un plus grand nombre d'armateurs (EMSA, 2018).

Weaknesses

Bien que cette solution soit caractérisée par certains points forts liés à la grande flexibilité de gestion et d'exploitation, la technologie TTS présente également de nombreuses faiblesses, notamment en ce qui concerne les types spécifiques de segments de demande à servir.

D'un point de vue opérationnel, le premier aspect critique concerne la capacité limitée des camions-citernes et des camions-citernes (généralement entre 40 et 80 m³)²⁴.

En outre, la vitesse à laquelle le GNL est transféré du camion au navire est d'environ 50 m³/h (EMSA, 2018), tandis que des vitesses nettement plus élevées peuvent être atteintes de l'installation de stockage au camion. Ces caractéristiques entraînent une augmentation importante du temps nécessaire au réapprovisionnement en GNL, ce qui peut s'avérer insoutenable dans le cas des grands navires.

Cela a également des implications du point de vue de l'efficacité et de la productivité de la gestion, ce qui a à son tour des conséquences sur les coûts d'exploitation. En fait, les coûts portuaires pour l'armateur augmentent avec l'augmentation du temps pendant lequel le navire est stationné au port.

Cela constitue clairement un problème encore plus spécifique dans le cas de la demande de services de soutage de GNL provenant des secteurs des croisières et des ferries.

Dans ce type de configuration, des problèmes peuvent également se poser en termes de congestion routière dans les zones adjacentes au port ou aux portes d'entrée/sortie. Cela pourrait avoir un impact supplémentaire sur le calendrier des opérations de soutage (AESM, 2018).

²⁴La capacità delle singole unità può raddoppiare qualora siano impiegati semirimorchi per trasportare un ulteriore serbatoio.

Dans cette perspective, la solution TTS ne s'avère efficace que pour des besoins énergétiques faibles, c'est-à-dire lorsque le système d'approvisionnement est conçu pour répondre à la demande de petits navires.

La solution TTS peut également être utilisée comme solution alternative "d'urgence" (de secours) pour permettre au navire de faire un petit ravitaillement et d'atteindre un port voisin mieux équipé pour le ravitaillement en GNL. Ce type d'installation dans une perspective systémique de réseau peut contribuer à renforcer la résilience globale de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, en créant des nœuds redondants mais fonctionnels pour le bon fonctionnement du réseau, dans l'intérêt de ses utilisateurs finals. Un autre aspect critique est l'emplacement des installations de stockage de GNL. Si leur localisation est trop éloignée des terminaux portuaires, le temps nécessaire aux pétroliers pour atteindre ces installations pourrait réduire l'efficacité du système, à la fois en termes d'augmentation possible des trajets de retour, et en termes de coûts plus élevés des péages autoroutiers et de la consommation de carburant pour les déplacements. La distance parcourue par les camions et les camions-citernes est donc un facteur particulièrement important pour la configuration TTS. Cet élément devient encore plus important si on le compare à la capacité de stockage des véhicules. En fait, pour l'approvisionnement d'un grand navire, il est nécessaire d'utiliser plusieurs unités mobiles de ravitaillement (c'est-à-dire des camions et des camions-citernes) en même temps ou d'effectuer un plus grand nombre de voyages avec un seul véhicule. Cela se traduit par une augmentation des délais et des coûts ainsi que par une augmentation potentielle des risques associés à la gestion des opérations de soutage à quai en raison du nombre croissant de véhicules en transit dans les zones portuaires.

Par exemple, pour ravitailler un navire avec un réservoir de GNL de 200 m³, il faut environ 4 heures (en tenant compte de la vitesse de ravitaillement, égale à 50m³/h en moyenne) ou 2 heures, mais avec deux fois plus de véhicules. Par conséquent, la faisabilité de la configuration TTS dépend fortement du coût moyen par m³ de GNL fourni, qui est influencé non seulement par les coûts spécifiques inhérents aux opérations de soutage, mais également par les coûts liés au transport et à la disponibilité des véhicules. Du point de vue de la sécurité, la configuration du TTS pour l'avitaillement en GNL exige que des procédures de sûreté portuaire précises soient établies pour prévenir la survenance d'événements potentiellement dangereux (Mat tech LNG, 2014). En particulier, il y a une limite au nombre de méthaniers qui peuvent simultanément transiter/séjourner dans le port ou dans une zone spécifique de celui-ci. Cette limite est liée à la taille du port et aux mesures que l'Autorité du Système Portuaire, en accord avec les autorités publiques locales et les réglementations nationales de sécurité, décide d'adopter. Le ravitaillement en carburant par camions et camions-citernes peut en effet interférer avec le chargement/déchargement des marchandises et/ou des passagers, entraînant une augmentation des risques et des dommages qui peuvent être causés à des tiers en cas d'accident.

Figure 13. Configuration TTS avec l'utilisation de plusieurs navires-citernes



Source: https://www.lngworldshipping.com/news/view,jacksonville-the-premier-us-lng-bunkering-port-moves-into-higher-gear_51438.htm

Un autre élément critique est lié à la figure professionnelle du conducteur de camion ou de camion-citerne, qui, n'étant généralement pas un employé du port, peut ne pas être familiarisé avec les procédures de sûreté, qui, comme mentionné ci-dessus, peuvent varier d'un port à l'autre.

Figure 14. Analyse SWOT Configuration TTS

Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flessibilità operativa e gestionale ▪ Basso costo degli investimenti e ridotti <i>sunk costs</i> ▪ Rifornimento navi anche in condizioni meteo avverse ▪ Offerta di bunkering rivolta prevalentemente a domanda spot 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ridotta capacità dei serbatoi ▪ Ridotta velocità delle operazioni di bunkering ▪ Regolamenti sulla sicurezza specifici ▪ Necessità di utilizzare diverse unità per il rifornimento
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizzo delle singole unità su diversi terminal/porti: ripartizione dei costi tra diversi stakeholder ▪ Soluzione idonea per testare il mercato del bunkering di GNL ▪ Configurazione utilizzata per favorire la transizione al GNL 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Distanza dagli impianti di stoccaggio e rifornimento di GNL ▪ Costi di carburante e pedaggi ▪ Congestionamento stradale nelle aree di accesso e limitrofe al porto ▪ Rallentamento delle operazioni di carico/scarico merci e persone

Source: nt elaboration

La figure 14 résume les facteurs endogènes et exogènes examinés jusqu'à présent dans le cadre de la configuration TTS. En particulier, en se référant aux macro-catégories précédemment définies pour l'analyse des caractéristiques des technologies de soutage du GNL, la flexibilité opérationnelle et de gestion de la technologie TTS, ainsi que le faible coût des investissements initiaux requis, sont présentés comme des atouts. Néanmoins, certains points critiques évidents (faiblesses) apparaissent en raison de la faible capacité des citernes et de l'efficacité globale des opérations de soutage.

4.2. Configurazione Ship to Ship (STS)

La configuration "de navire à navire" (STS) implique l'utilisation de barges ou de petites unités navales (également appelées barges ou parfois SSLNGC ou Small Scale LNG Carrier), pour l'exécution des opérations de soutage du GNL. Le ravitaillement en carburant se fait en pleine mer, tant dans les eaux du port que dans les zones protégées des éléments. En particulier, les unités de ravitaillement du navire sont placées côte à côte avec les navires à ravitailler et assurent le transfert du GNL au moyen de conduites flexibles et des systèmes de pompage dont elles sont équipées.

La configuration STS est actuellement utilisée, par exemple, en Suède, où le ferry "Viking Grace" est approvisionné quotidiennement par la barge "Seagas" (dont les réservoirs ont une capacité de 187 m³), et en Norvège, où le méthancier "Pioneer Knutsen" a été équipé de manière appropriée pour les opérations de soutage. En ce qui concerne le premier cas, il est important de souligner la particularité du système utilisé, conçu par Linde, qui permet l'élimination de la conduite de retour de vapeur pour compenser la variation de pression dans le réservoir du navire ravitailleur, qui est géré par un vaporisateur d'eau. Une autre particularité de cette technologie est l'absence de système de pompage de GNL. Le transfert s'effectue en effet à l'aide de la pression du réservoir dans le réservoir d'alimentation, ce qui implique toutefois la nécessité de maintenir les valeurs de pression jusqu'à 15 bar.

Récemment (16 janvier 2019), l'AIDA nova de la compagnie allemande AIDA Cruises (qui fait partie du groupe Costa Crociere Carnival Corporation), a réalisé avec succès la première opération de soutage de GNL en configuration STS à Santa Cruz de Tenerife, aux îles Canaries (Espagne). Le briquet utilisé pour le ravitaillement (Coral Methane) a une capacité de 7 500 m³. Il s'agit d'un navire construit en 2009 et adapté en 2018 d'un pétrolier GPL à un navire ravitailleur de GNL.

L'événement en question (Figura 15) représente la première fourniture de STS du groupe Shell dans les eaux territoriales espagnoles dans le cadre du contrat de fourniture de GNL de 10 ans signé par le groupe Carnival (qui comprend huit sociétés, dont Costa Crociere) du monde entier. Un accord similaire a été signé par Total avec la société MSC.

Grâce à la capacité de la barge et des réservoirs de barge, la configuration STS permet d'alimenter des navires d'une capacité de stockage de GNL comprise entre 1 000 et 10 000 m³.

Plus précisément, les barges-couloirs nécessitent des procédures similaires à celles généralement utilisées pour le ravitaillement en carburant diesel : les barges, en effet, n'étant pas équipées de systèmes de propulsion, sont remorquées ou poussées par des remorqueurs spéciaux pour flanquer les navires devant être ravitaillés.

Il existe différents types de barges, certaines très simples, sur lesquelles sont simplement placés les réservoirs de GNL, d'autres équipées de systèmes plus complexes et avancés, dans lesquels une partie des réservoirs est contenue dans la coque. Ces derniers sont souvent équipés de grues ou d'autres équipements afin de rendre les procédures de soutage plus efficaces ou d'assurer la sécurité de l'ensemble du processus.

Figure 15. Opérations de soutage de GNL effectuées par AIDA Nova aux îles Canaries



Source: <http://www.conferenzagnl.com>

Les briquets sont de petits navires, qui ont généralement une capacité de stockage et de transport de GNL supérieure à celle des barges décrites ci-dessus. Grâce au système de propulsion et à l'équipement embarqué, les briquets peuvent se déplacer de manière autonome et se ravitailler aussi bien dans les eaux portuaires qu'à l'extérieur.

Les briquets, parfois aussi appelés SSLNGC ou LNGBV (ou navires-citernes de GNL), peuvent être utilisés pour atteindre des ports ou des zones côtières situés dans des zones éloignées, où il n'existe pas d'installations de stockage et/ou de soutage de GNL. La conception des barges et, surtout, des briquets doit être conforme aux normes fixées par le "*International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk*" (IGC Code). Le Code IGC établit des normes internationales pour la sécurité du transport par mer de gaz liquéfiés et d'autres substances ayant des caractéristiques de produit et des défis opérationnels similaires en vrac²⁵.

²⁵ Le code CIG, prescrit les normes de conception et de construction des navires participant aux opérations de gaz liquéfié et indique la gamme d'équipements dont l'équipement minimisera les risques pour le navire, son équipage

Strengths

La configuration STS présente plusieurs avantages résultant de la grande capacité de stockage de GNL des navires utilisés pour le ravitaillement en carburant et du taux de transfert élevé du carburant, qui peut atteindre jusqu'à 1 000 m³/h. Par conséquent, la solution STS est l'une des meilleures alternatives lorsque des moyens navals importants doivent être réapprovisionnés.

Un autre avantage est la possibilité d'effectuer des opérations simultanées (Simultaneous Operations, SIMOPS), lorsque cela est autorisé. Cela signifie que le navire peut être réapprovisionné pendant le chargement ou le déchargement des marchandises et/ou des personnes, bien qu'une autorisation spécifique de l'Autorité portuaire et des organismes publics locaux soit nécessaire pour assurer la sécurité des procédures. Cet aspect représente un atout indéniable de la configuration STS, qui permet ainsi de réduire le temps passé au port pour le ravitaillement et, par conséquent, les coûts portuaires supportés par l'armateur. Contrairement à d'autres solutions technologiques, l'avitaillement en GNL par la configuration STS peut être effectué alors que l'unité de réception est située à l'intérieur et à l'extérieur du bassin portuaire (EMSA, 2018).

Figure 16. Configuration des STS par barge



Source: <https://northstarbunker.com>

Lorsque les opérations se déroulent à l'étranger, la technologie est classée comme *offshore* (Arnet, 2014). Cela réduit les risques pour le territoire côtier d'éventuels incidents techniques liés à l'avitaillement en GNL, ainsi que les externalités négatives générées pour les communautés locales. De plus, la possibilité de ravitaillement en combustible en mer rend le

et l'environnement. Outre le code CIG, il convient également de prendre en considération le code IMDG (International Maritime Dangerous Goods) qui définit les principes de base et les recommandations à suivre pour la manipulation des différentes substances et matériaux. Ces recommandations comprennent de bonnes pratiques opérationnelles relatives à la terminologie, à l'emballage, à l'étiquetage, à l'arrimage, à la séparation et à la manipulation de ces matériaux et substances.

choix de l'emplacement des installations de stockage et de regazéification de GNL plus souple, ce qui représente au contraire l'une des limites des autres configurations.

Cette flexibilité se traduit également par des avantages opérationnels : l'approvisionnement en mer ne nécessite pas d'investissements spécifiques à terre et, par conséquent, les risques liés à l'inefficacité des activités portuaires sont réduits. Par exemple, les retards causés par la congestion routière dans les zones entourant le port et/ou aux entrées, dans le cas de la configuration TTS, et les éventuels dysfonctionnements des systèmes d'alimentation pour la configuration PTS (Port to Ship ou Terminal to Ship) sont mentionnés.

Le ravitaillement en carburant en mer par l'intermédiaire de STS conduit donc à une plus grande accessibilité des services d'avitaillement en GNL, étant donné qu'ils ne sont pas liés à des questions d'investissement et à des questions onshore. Cela permet de fournir le service même dans les zones ou les pays où un réseau de distribution de GNL efficace n'a pas encore été mis en place et constitue un facteur important pour encourager l'adoption de ce carburant naval alternatif.

Weaknesses

Compte tenu des nombreux avantages qui viennent d'être mentionnés, la technologie **STS** présente des points critiques incontestables. Tout d'abord, des investissements initiaux importants sont nécessaires pour l'acquisition d'unités navales pour la fourniture de GNL (c'est-à-dire des barges et des briquets), pour lesquels des coûts de maintenance élevés sont également nécessaires (Mat Tech LNG, 2014).

Les opérations d'avitaillement du STS sont associées à un risque élevé de collision entre les navires en cause, surtout lorsque le ravitaillement en carburant se fait au large des côtes en raison des conditions météorologiques et de l'état de la mer. Toutefois, une attention particulière doit également être accordée aux procédures effectuées à l'intérieur du bassin portuaire car des dommages peuvent être causés à des tiers (accidents avec des bateaux et des navires amarrés ou en transit dans le port) ou à l'infrastructure/aux infrastructures portuaires, suite à des collisions avec les quais.

Dans cette perspective, l'extension des espaces portuaires disponibles pour les opérations de soutage et la taille des navires à approvisionner sont des facteurs importants dans le choix de la configuration STS.

Enfin, une autre question critique concerne l'emplacement des installations côtières de stockage de GNL. Sur la base de ces données, un rayon de distance est estimé pour délimiter la zone à l'intérieur de laquelle les opérations de soutage par STS sont considérées comme économiquement réalisables.

Dans le tableau récapitulatif de la figure 16, l'accent est mis en particulier sur la capacité de stockage et de transport des barges utilisées pour le ravitaillement en GNL dans la configuration STS. En particulier, les points forts comprennent la possibilité d'effectuer des opérations simultanées de chargement/déchargement et/ou d'embarquement/débarquement des

passagers pendant les opérations de ravitaillement en carburant (SIMOPS). Cet aspect augmente l'efficacité globale des opérations d'avitaillement en GNL, réduisant ainsi le temps que le navire passe au port. Toutefois, certains aspects négatifs apparaissent, qui sont configurés comme des faiblesses (*weaknesses*), à savoir le coût de l'investissement initial et de l'entretien des navires utilisés pour les activités de soutage, ainsi que les menaces (*threats*) liées aux profils de sécurité et aux risques liés aux opérations.

Figure 17. Analyse SWOT de la configuration STS.

Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevata capacità di stoccaggio delle unità navali impiegate per il rifornimento ▪ Velocità del rifornimento ▪ Flessibilità operativa: SIMOPS ▪ Assenza di impiego di spazi portuali 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forti investimenti iniziali ▪ Elevati costi di manutenzione

Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Riduzione esternalità negative per zone costiere e comunità locali (rifornimento <i>offshore</i>) ▪ Maggiore accessibilità al servizio ▪ Riduzione degli investimenti per impianti ed attrezzature in ambito portuale ▪ Riduzione delle inefficienze legate alle attività portuali 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Distanza dagli impianti di stoccaggio costieri ▪ Rischio connesso alle condizioni meteo-marine e collisioni (rifornimento <i>offshore</i>) ▪ Estensione del bacino portuale: rischio danni a terzi (per rifornimento all'interno del porto)

Source: ns elaborazione

4.3. Configuration Port to Ship, Terminal to Ship via pipeline (PTS)

La configuration de l'avitaillement en GNL peut également se faire en utilisant une solution "Port to Ship" ou "Terminal to Ship" (PTS) ou "Pipeline to Ship". Dans le cas où le navire est ravitaillé par gazoduc, il consiste à mettre en place une station de ravitaillement en GNL à terre (à un quai ou une jetée dédiée), où les navires, une fois amarrés, font le plein.

L'exploitation nécessite l'utilisation de tuyauteries rigides pour accélérer le transfert de carburant. Des tuyaux flexibles sont également utilisés dans la dernière partie de la liaison avec le navire afin de garantir un certain degré d'adaptabilité et de flexibilité du système de ravitaillement. De cette façon, l'usine est en mesure de desservir différents types de navires sans avoir à modifier sa disposition. Le réservoir de stockage de GNL est situé à l'intérieur de la station de ravitaillement à quai et peut être de grande taille (à pression atmosphérique) ou de

plus petite taille (dans le cas des réservoirs sous pression). L'adoption de la configuration PTS exige que le navire soit amarré au quai où se trouve la station (ou l'usine) de soutage. Cependant, au niveau international, des solutions alternatives ont été conçues : à l'aide d'un ponton flottant, sur lequel est placé un réservoir de stockage de GNL, relié à l'installation à terre par des canalisations spéciales, le navire peut se ravitailler même à une certaine distance du quai (DNV, 2014 ; 2015a ; 2015b).

Figure 18. Approvisionnement en GNL selon la configuration du STP



Source: <https://www.sqfeed.com>

Cette option nécessite le développement d'une infrastructure permettant de s'assurer que les mouvements de la plate-forme flottante, imputables par exemple aux vagues et aux conditions météorologiques, n'endommagent pas l'équipement utilisé pour le transfert.

Strengths

Cette solution, bien qu'elle présente des complexités et des problèmes critiques du point de vue de la sûreté de la centrale et des opérations d'avitaillement, souligne certains aspects positifs importants. Tout d'abord, elle permet de réduire l'extension des zones portuaires occupées par l'usine. Compte tenu du coût d'opportunité des espaces en question, la configuration PTS pour l'avitaillement en GNL par plate-forme flottante est une solution particulièrement intéressante pour ceux qui sont appelés à évaluer la destination des zones portuaires ainsi que la solution d'avitaillement en GNL la mieux adaptée aux caractéristiques du port et à l'importance de la demande en GNL.

De plus, d'un point de vue opérationnel, cette solution est plus flexible car elle permet l'accostage de différents types de navires sans investissements spécifiques en termes d'infrastructure, comme le dragage et l'extension des quais.

La configuration PTS permet la gestion de grands volumes de GNL par l'utilisation de réservoirs terrestres d'une capacité totale de stockage comprise entre 500 et 30 000 m³ (EMSA, 2018). La vitesse de réapprovisionnement est également plus rapide que les autres solutions de soutage, atteignant jusqu'à 2.000 m³/h. Cela réduit considérablement le temps de ravitaillement en carburant et les coûts portuaires du navire pour le propriétaire. Cette solution technologique est donc particulièrement adaptée pour desservir les grands navires de grande capacité de réservoirs de GNL.

Malgré ce qui précède, les systèmes de configuration de soutage PTS peuvent également être de petite taille. Dans ce cas, on utilise principalement des citernes à balles d'un volume d'environ 1.000 m³. Cela permet une croissance évolutive de l'usine en raison de l'augmentation potentielle de la demande de GNL. Par conséquent, la capacité de stockage peut être augmentée en installant des réservoirs supplémentaires. Compte tenu du coût élevé de la configuration PTS et des difficultés de prévision de la demande de GNL, la solution modulaire représente une alternative technologique intéressante.

Ces caractéristiques rendent la configuration de soutage PTS adaptée au service :

- Les navires assurant des services réguliers de transport et d'avitaillement en GNL avec une fréquence élevée et constante,
- Les navires utilisés dans les transports logistiques qui s'approvisionnent de temps à autre,
- Les navires utilisés pour d'autres types d'activités et/ou de services tels que les remorqueurs ou les bateaux de pêche (World Maritime University, 2014).

Il est également possible d'alimenter des navires de soutage (bunker vessels) ou des barges pour des opérations de soutage ultérieures par le biais de la configuration STS.

En ce qui concerne le remplissage des réservoirs de GNL de l'usine, il est possible d'utiliser des méthaniers (ravitaillement en mer) ou des camions (ravitaillement à terre). Les opérations peuvent également être effectuées au moyen de canalisations reliées à des installations intérieures.

Toutefois, cette dernière solution nécessite des coûts d'investissement élevés liés à la mise en place d'infrastructures et d'équipements supplémentaires, y compris, en particulier, une usine de regazéification. Les gazoducs, en effet, permettent le transport direct du gaz qui, une fois arrivé à la station-service du port, doit être transformé en GNL.

Weaknesses

La configuration PTS présente des faiblesses évidentes principalement liées aux coûts d'investissement initiaux et à la localisation des installations (extension des surfaces occupées pour le positionnement des installations et des réservoirs, définition des choix de micro-localisation de ces derniers).

En particulier, les investissements liés à la fourniture de solutions technologiques de ce type restent exposés au risque de devenir des coûts irrécupérables si cette solution technologique est abandonnée en raison de problèmes techniques ou opérationnels, de la baisse de la demande de GNL ou de la sortie du business de l'entreprise de bunkering. De ce point de vue, il est donc important de considérer non seulement les coûts de construction de l'installation de stockage à terre et des réservoirs, mais aussi les éléments de coût imputables à l'achat de l'équipement et des pipelines nécessaires à une connexion sûre entre le navire et l'installation (Clean Baltic Sea Shipping - European Project, 2013).

L'accessibilité (en particulier en ce qui concerne les quais) est une autre limitation majeure car elle affecte la taille des navires que la même installation peut fournir. En ce sens, les caractéristiques du port et l'espace disponible pour la construction et le positionnement de la station de bunkering en GNL sont un facteur fondamental et critique pour l'évaluation de cette solution technologique.

Par ailleurs, ces systèmes et réservoirs étant situés à terre dans les zones portuaires, il est d'autant plus urgent de se conformer à l'ensemble des réglementations existantes en matière d'installations et d'équipements GNL. En particulier, les autorités publiques locales, ainsi que l'Autorité portuaire, peuvent établir des réglementations spécifiques pour assurer la sécurité des opérations et la sécurité des communautés locales.

D'un point de vue opérationnel, la configuration PTS se caractérise par une grande rigidité. Dans ce cas, il n'est pas possible de charger/décharger simultanément une cargaison et/ou des passagers pendant que le navire fait le plein. De plus, l'investissement initial définit la taille de l'offre, qui est difficile à modifier sans changements majeurs. En ce sens, la station de bunkering sera en mesure d'approvisionner des types spécifiques de navires.

La Figure 19 présente les données sommaires de l'analyse SWOT de la configuration PTS. Dans le cas d'espèce, du point de vue des investissements initiaux et des coûts de maintenance, cette technologie présente plusieurs faiblesses, comme l'indique le quadrant des faiblesses.

En ce qui concerne l'efficacité des opérations et la capacité de l'usine, la solution Port to ship permet de gérer des volumes importants de GNL qui peuvent être rapidement transférés sur les navires amarrés à quai au moyen de conduites fixes.

Toutefois, ces infrastructures nécessitent des exigences techniques et de sécurité spécifiques qui constituent des menaces dans l'analyse SWOT réalisée.

Figure 19. Analyse SWOT de la configuration du PTS

Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevata capacità di stoccaggio ▪ Velocità del rifornimento 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forti investimenti iniziali ▪ Elevati costi di manutenzione ▪ Rigidità operativa ▪ Occupazione delle aree portuali

Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rifornimento costante e regolare per navi di linea ▪ Collegamento diretto con metanodotti ad impianti dell'entroterra (approvvigionamento rapido) ▪ Flessibilità dei volumi gestiti 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esternalità negative sul territorio circostante ▪ Regolamenti fortemente restrittivi in tema di sicurezza ▪ Accessibilità del porto e del terminal

Source: nt élaboration

4.4. La configuration Mobile Fuel Tanks

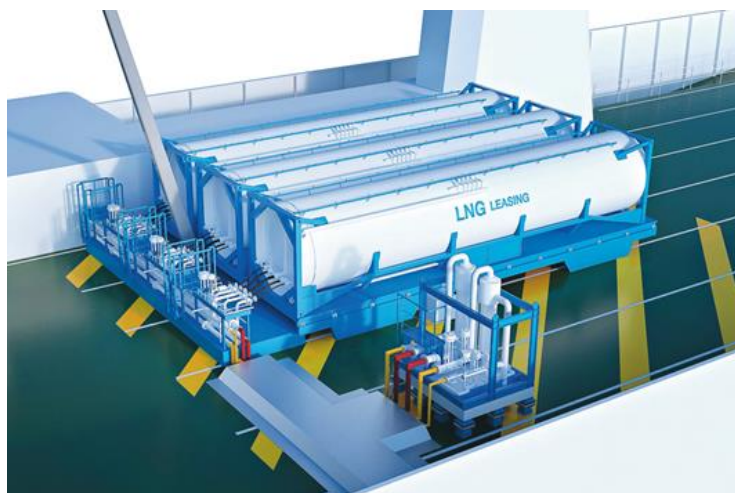
La configuration technologique "Mobile Fuel Tank" implique l'utilisation de réservoirs mobiles pour le bunkering en GNL. Il s'agit de réservoirs cryogéniques ou de conteneurs ISO à double paroi isolante ou en polyuréthane simple paroi, utilisés comme stockage temporaire de carburant: lorsque la demande se fait sentir, ces réservoirs sont transportés vers les docks du port pour ravitailler les navires (Wärtsilä, 2019).

La particularité de cette configuration réside dans la possibilité de déplacer les réservoirs de carburant d'un endroit à un autre, à l'aide de moyens mécaniques simples, de sellettes d'attelage ou de camions. La solution "Mobile Fuel Tank" est donc une solution très flexible d'un point de vue opérationnel, car elle permet de moduler rapidement l'offre en fonction de la demande exprimée en GNL. Cependant, les volumes de carburant manutentionnés sont plutôt faibles car ils sont liés à la capacité limitée des réservoirs individuels utilisés pour le bunkering, soit environ 40-45 m³ pour les conteneurs de GNL ISO de 40 pieds. Dans cette perspective, la quantité de GNL que cette configuration permet de gérer dépend du nombre de réservoirs traités et utilisés pour chaque service de bunkering individuel. Cela signifie que la solution de réservoir de carburant mobile est plus adaptée aux petites quantités de carburant, bien que l'évolutivité de la technologie permette de répondre à une demande encore plus importante, en utilisant un nombre croissant de réservoirs. Cet égard, le coût du transport des citernes, qui

dépend fortement du moyen de transport choisi, à savoir les camions, les trains ferroviaires ou les cargos, doit être pris en compte dès le départ. Une fois que le réservoir de GNL atteint le quai, près du navire, les opérations de bunkering sont effectuées par une conduite isolée qui relie le réservoir aux réservoirs du navire. Les procédures sont similaires à celles déjà analysées pour la configuration TTS. Dans ce cas, en particulier, les conteneurs ISO ont tendance à être déjà équipés pour effectuer le raccordement et pomper le carburant dans les réservoirs du navire (Figure 20).

Wartsila a proposé un nouveau système qui permet aux navires de charger le conteneur ISO à bord et de l'utiliser directement comme réservoir pour alimenter la propulsion du navire. Cette solution est particulièrement avantageuse lorsque le navire dispose de suffisamment d'espace à bord pour accueillir le conteneur ISO, car elle réduit considérablement le temps de bunkering.

Figure 20. Rifornimento di GNL secondo configurazione mobile fuel tank



Fonte: <https://www.wartsila.com>

Strengths

En général, la solution avec Mobile Fuel Tank se caractérise par plusieurs points forts. Premièrement, elle permet, lorsque cela est permis, l'exécution simultanée d'autres activités opérationnelles (Simultaneous Operations – SIMOPs²⁶). Cela signifie que pendant le ravitaillement, le navire peut charger/décharger des passagers et/ou des marchandises, ce qui rend cette configuration très intéressante pour les ferries, les navires de croisière et les porte-conteneurs.

En outre, comme indiqué précédemment, il s'agit d'une solution particulièrement flexible d'un point de vue opérationnel, puisqu'elle favorise la capillarité et la simplicité de la distribution.

²⁶ Les opérations simultanées (SIMOPs) font référence à la possibilité d'effectuer les procédures de ravitaillement en GNL du navire en même temps que les activités opérationnelles de chargement/déchargement et/ou d'embarquement/débarquement des passagers (Stavros, 2015). Cette condition permet à l'armateur de réduire le temps nécessaire pour effectuer les opérations de manutention au port et donc le total des coûts d'exploitation encourus.

Un autre point fort de cette configuration réside dans les faibles investissements initiaux requis pour l'achat des équipements nécessaires à la livraison des navires. Les citernes mobiles et les conteneurs ISO peuvent également être utilisés à d'autres fins que l'avitaillement en GNL, ce qui élimine le risque de coûts potentiellement irrécupérables.

Weaknesses

D'un point de vue critique, le réservoir de carburant mobile présente des profils similaires à la configuration TTS. En particulier, il est évident que la limite liée à la capacité des réservoirs utilisés pour le ravitaillement en carburant rend cette solution inadaptée à l'alimentation des grands navires, compte tenu également de la faible vitesse de transfert du carburant.

D'un point de vue opérationnel, il existe d'autres problèmes liés au maintien de la température du GNL dans des conteneurs ISO afin d'éviter les fuites de carburant. Chaque manipulation des réservoirs signifie qu'ils sont déconnectés et reconnectés en permanence à l'alimentation électrique, causant des problèmes d'un point de vue technique et de sécurité. En ce qui concerne les profils de sécurité, des procédures spécifiques doivent être préparées pour limiter les points critiques liés au levage et à la manutention des conteneurs cryogéniques ISO de GNL, ainsi qu'à la circulation et au stationnement au port des véhicules utilisés pour le transport de ces réservoirs.

Figure 21. Analisi SWOT della configurazione mobile fuel tanks

Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flessibilità operativa ▪ Possibilità di movimentare il serbatoio all'interno dell'area portuale ▪ Possibilità di caricare direttamente l'ISO container a bordo nave ▪ Contenuti investimenti iniziali 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limitata capacità dei serbatoi ▪ Limitata velocità di trasferimento del combustibile ▪ Necessità di connessione alla rete elettrica

Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Scalabilità del sistema ▪ Possibilità di sopperire a domande spot ▪ Possibilità di effettuare SIMOPS 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rischi connessi alla movimentazione del serbatoio in porto ▪ Definizione di aree di sosta per i mezzi di trasporto

Fonte: ns elaborazione

La matrice récapitulative de l'analyse SWOT de la configuration des réservoirs mobiles de carburant (figure 21) met en évidence, parmi ses points forts et ses opportunités, l'évolutivité des services de bunkering associés à cette technologie, qui permet de moduler rapidement la capacité d'offre sur la base de la demande manifeste de GNL. Le réservoir de carburant mobile se caractérise également par une grande flexibilité opérationnelle et un faible investissement initial, puisqu'il n'est pas nécessaire de mettre en place des installations spécifiques pour les opérations de bunkering de GNL. L'un des points faibles est la faible capacité globale de cette configuration, qui dépend du nombre et de la taille des conteneurs ISO disponibles/utilisés (la capacité moyenne en volume des conteneurs ISO pour le GNL de 40 pieds est d'environ 40 à 45 m³). Enfin, il existe des criticités évidentes en matière de sûreté (incluses dans le quadrant des menaces) en raison de la dangerosité liée à la manutention des conteneurs dans les zones portuaires.

4.5 Benchmarking et comparaison de configurations alternatives

Sur la base des considérations qui précèdent, il est donc possible de fournir un cadre récapitulatif indiquant, pour les différentes configurations technologiques qui peuvent être utilisées dans le secteur de bunkering en GNL, les principaux avantages et points critiques qui peuvent ressortir du profil opérationnel et de dangerosité des opérations, ainsi que les domaines types d'application portuaire.

Tableau 4. Benchmarking et comparaison de configurations alternatives

	Configurazione Truck to Ship [TTS]	Configurazione Ship to Ship [STS]	Configurazione Port o Terminal to Ship [PTS]	Configurazione Mobile fuel tanks
<i>Volumi di GNL</i>	Inferiori a 200 m ³	Compresi tra 1.000 e 10.000 m ³	Nessun limite in termini di volumi	Compresi tra 20 e 50 m ³ per unità
<i>Velocità delle operazioni di bunkering</i>	Bassa	Media	Alta	Medio-Alta
<i>Portata caratteristica di trasferimento</i>	50 m ³ /h	1000 m ³ /h	2000 m ³ /h	50 m ³ /h
<i>Vantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Elevata flessibilità operativa; - Assenza di investimenti infrastrutturali; - Basso investimento iniziale; - Reversibilità 	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilità di effettuare SIMOPs (turn-around times ridotti); - Assenza di impiego di spazi portuali dedicati; - Flessibilità nella localizzazione e nei volumi. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tempistiche di bunkering molto contenute; - Flessibilità nei volumi gestiti; - Modularità nella definizione della capacità complessiva della stazione di bunkering 	<ul style="list-style-type: none"> - Semplicità distributiva; - Assenza di investimenti infrastrutturali dedicati; - Basso investimento iniziale; - Le navi non devono navigare sino a una specifica localizzazione nel porto.
<i>Svantaggi</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Velocità e portata del rifornimento molto limitate; - Capacità di stoccaggio contenuta; 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevati investimenti in navi e chiatte per il rifornimento; 	<ul style="list-style-type: none"> - Obbligo per le navi di raggiungere una specifica location nel porto; - Impossibilità di svolgere SIMOPs 	<ul style="list-style-type: none"> - Ridotta capacità di stoccaggio per singolo tank; - Riduzione della capacità di carico a

<p><i>Applicazioni in ambito portuale</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Rischi connessi all'assenza di personale tecnico specializzato; - Elevati costi di trasporto per m³ di GNL; - Presenza di truck in banchina con conseguente incremento dei rischi per le persone e le merci. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costi operativi superiori a altre soluzioni tecniche; - Aumento del rischio connesso a collisioni tra navi e incidenti; - Maggiore complessità nella gestione delle operazioni di bunkering. 	<p>(allungamento delle tempistiche di turn-around);</p> <ul style="list-style-type: none"> - Elevati investimenti in dotazioni infrastrutturali e attrezzature; - Occupazione di ampi spazi portuali. 	<p>uso commerciale della nave rifornita;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Maggiore pericolosità delle operazioni connesse al sollevamento dei serbatoi; - Necessità di avere gru di carico (in banchina o in dotazione alla nave da rifornire).
	<ul style="list-style-type: none"> - Localizzazioni contraddistinte da bassa frequenza di bunkering di GNL; - Start up delle attività di bunkering di GNL; - Porti con molteplici terminal che richiedano l'assegnazione di aree per il bunkering; - Porti non serviti dalla rete di rifornimento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Porti con traffico misto (inland e seagoing ships); - Porti caratterizzati da ampi specchi acquei; - Porti non particolarmente soggetti a condizioni meteo avverse 	<ul style="list-style-type: none"> - Porti di medie o grandi dimensioni; - Porti caratterizzati da elevata frequenza di operazioni di bunkering di GNL; - Porti caratterizzati da domanda di GNL stabile o facilmente prevedibile. 	<ul style="list-style-type: none"> - Start up delle attività di bunkering di GNL; - Porti ove transitano numerose portacontainer.

Fonte: AMP Solutions, 2017.

Compte tenu de l'analyse réalisée et des résultats résumés dans le tableau 4, il est clair que le choix de la configuration technologique la plus appropriée pour répondre aux besoins spécifiques des ports de la zone cible dépend fortement d'une multiplicité d'éléments relatifs aux facteurs endogènes de la technologie et exogènes liés au contexte dans lequel le port est situé.

L'utilisation de l'analyse SWOT, basée sur l'évaluation des profils endogènes et exogènes, permet donc de développer un outil visant à systématiser la procédure de définition de la configuration de bunkering GNL la plus appropriée pour le cas en question.

5. Application de l'analyse SWOT à des cas d'affaires spécifiques

L'approche méthodologique proposée et développée dans les pages précédentes peut être utilement utilisée par les décideurs politiques et par les différents décideurs dans l'adoption des choix relatifs à la planification et à la programmation des investissements relatifs aux installations de bunkering et de stockage de GNL dans les ports de la zone du programme.

En particulier, l'analyse SWOT peut être une méthodologie efficace pour faire une première évaluation du choix d'une solution technologique spécifique pour l'avitaillement en GNL ou du choix connexe de la microlocalisation des installations connexes dans une zone portuaire spécifique.

À cette fin, dans la poursuite des activités mentionnées dans le projet, le produit sera partagé avec les parties prenantes concernées et l'utilisation de cette approche sera proposée aux mêmes parties prenantes en tant qu'outil de gestion à l'appui des décisions.

A titre d'exemple, voici comment l'analyse SWOT pourrait être utilisée par l'AdSP ou l'autorité portuaire compétente pour sélectionner un investissement spécifique dans le bunkering /le stockage de GNL dans le cadre de différentes hypothèses de projet, ou pour préférer un certain emplacement des installations respectives, par rapport à d'autres solutions possibles de localisation.

Le port de Gênes et de Savone est assez complexe, à la fois en raison de l'absence de terrains libres pour le stockage de GNL et d'installations de bunkering, et en raison des nombreuses contraintes de planification, d'urbanisme et de sécurité qui doivent être prises en compte dans le cadre des processus décisionnels visant à établir des activités opérationnelles avec un profil de risque important.

Ces dernières années, en raison des tendances internationales qui ont vu la prolifération des investissements dans les navires alimentés au GNL, l'Autorité portuaire de la Ligurie occidentale a commencé à évaluer la faisabilité de certaines solutions technologiques pour assurer l'installation de systèmes de ravitaillement naval dans un des aéroports gérés par l'administration.

Sur le plan technologique, deux solutions semblent aujourd'hui potentiellement réalisables : les petites installations de stockage avec des activités relatives de bunkering réalisées par des briquets ou l'utilisation d'installations GNL sur des barges flottantes amarrées dans le port.

La première solution, certainement plus "traditionnelle", nécessite l'identification d'une surface de plusieurs dizaines de milliers de mètres carrés, tout en respectant les contraintes de compatibilité urbaine, d'usage prévu et de sécurité par rapport aux compendiums concessionnaires voisins ainsi qu'aux zones urbaines hors des espaces publics. De plus, la nécessité d'alimenter les dépôts par voie maritime nécessite la présence d'un quai adjacent (ou mieux encore adjacent) aux zones de stockage afin de minimiser le transport par pipeline cryogénique. Comme chacun le sait, cette dernière est particulièrement coûteuse tant en termes d'investissements initiaux (CAPEX) qu'en termes de coûts d'exploitation et de maintenance

(OPEX). Le quai doit avoir un tirant d'eau suffisant pour l'amarrage du méthanier (le tirant d'eau requis est assez modeste) et, surtout, il ne doit pas présenter de contraintes d'accessibilité nautique ni compromettre la sécurité de la navigation pour les autres navires. La solution terrestre à petite échelle, afin d'être plus compétitive et d'intercepter d'autres segments de la demande, devrait également avoir une bonne accessibilité au sol, tant pour la construction d'installations de ravitaillement en GNL pour camions. La possibilité de desservir également le trafic des camions (en plus des navires méthaniers) pourrait permettre, notamment dans la phase de démarrage de l'installation, d'augmenter le coefficient d'utilisation de l'usine et d'accélérer la récupération du capital investi.

La deuxième solution, celle de la barge flottante amarrée dans le port, présente des similitudes avec la barge à petite échelle en ce qui concerne les volumes de stockage disponibles et les charges verticales des usines, mais elle est sensiblement différente en ce qui concerne la criticité de la définition des zones au sol. La possibilité d'utiliser l'espace sur une barge exclut en effet les problèmes critiques liés à l'installation de systèmes de stockage au sol (manque d'espace, contraintes de sécurité, proximité des habitations, incompatibilité avec l'utilisation prévue des compendiums voisins, etc.) Il s'agit là d'un grand avantage potentiel de cette solution, notamment en ce qui concerne les ports présentant des caractéristiques d'espaces similaires à ceux de la Ligurie. Cette solution est également flexible en ce qui concerne le choix du point d'ancrage qui peut être défini en minimisant la criticité opérationnelle et la sécurité de la navigation intérieure dans le port (préservation de la largeur des principaux bassins d'évolution disponibles, etc.). A côté de la solution traditionnelle d'amarrage "à terre" à quai, la barge pourrait être située, par exemple, à des points d'amarrage adjacents à la digue.

En plus des solutions technologiques mentionnées ci-dessus, il existe également la possibilité d'une installation de regazéification, qui peut être combinée avec des activités de stockage et d'approvisionnement de navires. En ce qui concerne les ports de Gênes et de Savone, cette solution n'est pas sérieusement prise en considération par l'administration car il n'existe pas de conditions d'exploitation (manque d'espace adéquat, incompatibilité urbaine, etc.) permettant la création d'une usine de cette taille et complexité, et, surtout, semblent manquer de conditions de marché dues à la présence de l'usine de Panigaglia au port voisin de La Spezia et OLT située en pleine mer à 25 km du port de Livorno.

Compte tenu des caractéristiques du patrimoine de l'État et du contexte urbain des ports gérés par l'AdSP Mer de Ligurie occidentale, les principales criticités et complexités qui doivent être prises en compte dans les choix technologiques, productifs et localisateurs des usines de GNL sont attribuables à :

- a) la consommation d'espace au sol pour les activités d'entreposage (p. ex. la superficie en mètres carrés, l'aménagement, etc.) et les volumes des installations d'entreposage (p. ex. cabines, nombre de dépôts, charges verticales, etc.)

- b) l'étendue des surfaces de quai nécessaires à l'alimentation des installations de stockage et la complexité des connexions avec les zones de stockage par canalisations cryogéniques (qui sont extrêmement coûteuses)
- c) les contraintes d'accessibilité nautique imposées par la présence de méthaniers à quai et/ou de manoeuvres dans les zones du port équipées de miroirs d'eau de largeur modeste (ex. bassins d'évolution, chenal du bassin de Sampierdarena, etc.)
- d) les contraintes d'Etat, d'urbanisme et de sécurité découlant de la mise en place de ces activités. La proximité des maisons par rapport à la quasi-totalité des zones commerciales des ports en question rend particulièrement difficile l'identification des zones appropriées. De même, la mise en place d'installations de stockage de GNL adjacentes aux activités portuaires avec une forte présence d'une main-d'oeuvre stable (par exemple, construction navale, terminal à conteneurs) peut être un problème critique qui ne peut être facilement résolu (voir les " courbes de risque ").
- e) une partie assez importante du port de Sampierdarena est affectée par les contraintes du cône aérien de l'aéroport voisin de Cristoforo Colombo. Dans ce contexte, il existe des contraintes liées à la fois aux dimensions verticales des installations de stockage et à la proximité physique des points de stockage (et des amarres des méthaniers).

Au cours des dernières années, diverses solutions de règlement ont été évaluées par le AdSP, mais toutes sont essentielles et, dans certains cas, non négligeables. En résumé, et sans prétendre à l'exhaustivité, les solutions de localisation suivantes sont mises en évidence, avec quelques-unes des principales critiques qui en ont émergé :

- i) les zones de stockage près de la Lanterne, entre les zones du terminal Spinelli et l'ancien terminal de vrac (criticité: proximité des habitations, complexité de la propriété de l'État de la zone proche des activités de conteneurs, espace limité pour les navires à quai)
- ii) zones de stockage près de la chute d'Olii Minerali et du nouveau terminal de Bettolo (criticité: espace de stockage limité et criticité pour les manoeuvres des navires dans le bassin d'évolution opposé)
- iii) zones de stockage dans les zones de l'ancienne ILVA à Cornigliano (criticité : manque d'espace pour l'accostage des navires, difficulté d'obtenir de l'espace à terre auprès du nouveau gestionnaire des zones de l'ancienne ILVA, proximité non négligeable du cône aérien de l'aéroport)
- iv) zones de stockage sur un chantier à obtenir à l'intérieur du barrage actuel en face de l'embouchure de la Polcevera (criticité: criticité possible en raison de la proximité du cône d'air mais risques mineurs par rapport à la solution iii), difficulté à fournir des services de bunkering terrestre aux camions)
- v) les zones de stockage dans le compendium du port pétrolier de Multedo (points critiques : promiscuité avec les activités d'importation de pétrole et de produits dérivés, proximité

opérationnelle avec l'activité de construction navale, proximité des habitations de Multedo et Pegli avec les problèmes urbains et de légitimité vis-à-vis des acteurs, difficulté à identifier des zones de stockage appropriées et à débarquer également du fait du développement du "Tipping at Sea" de Fincantieri)

vi) zones de stockage à la base du brise-lames protégeant le terminal frigorifique de Vado Ligure Reefer (criticité : moins d'intérêt suscité par rapport aux autres options, peut-être en raison de l'excentricité de l'emplacement par rapport aux besoins du port de Gênes)

Certaines des solutions susmentionnées (en particulier les points ii), iii) et iv)) peuvent inclure l'option technologique de la barge flottante, au lieu du stockage traditionnel à petite échelle.

Comme le montrent les brèves notes sur un exemple empirique d'application de l'analyse SWOT dans le contexte des solutions de bunkering /stockage de GNL (dans les ports de Gênes et Savone), l'application et la diffusion de cette méthode de travail peuvent être un outil très utile pour au moins deux types de groupes cibles prévus dans le projet TDI RETE-GNL, soit :

- **Organismes publics** : Région Ligurie, Municipalité, Ville Métropolitaine, VVFF, Harbour Office ;

- **Organismes de droit public** : AdSP et Autorité portuaire

En particulier, dans la suite du projet, le produit sera partagé avec le représentant des parties prenantes du CdP de TDI RETE-GNL (Dr. Giuseppe Canepa - AdSP de la Mer Ligure Occidentale) et il lui sera demandé d'essayer d'appliquer la méthodologie proposée aux différentes hypothèses du projet étudié en référence au contexte de compétence du AdSP. De même, chacun des partenaires du projet (P2, P3, P4, P5) sera invité à identifier une analyse de rentabilisation pertinente à l'étude.

En effet, ces avancées de recherche seront incluses, conformément à ce qui est déjà prévu dans le Formulario, dans les produits T.1.1.1.1 et T.1.1.3, qui expireront dans la troisième période.

Bibliographie

ABS - American Bureau Of Shipping (2014). Bunkering of liquefied Natural Gas fueled Marin Vessel in North America.

Arnet, N. M. L. (2014). *LNG Bunkering Operations: Establish probabilistic safety distances for LNG bunkering operations*(Master's thesis, Institutt for energi-og prosessteknikk).

Cassar, M. P. (2017). LNG as a marine fuel in Malta: case study: regulatory analysis and potential scenarios for LNG bunkering infrastructure.

Clean Baltic Sea Shipping – European Project (2013). Bunkering of ships that use liquefied natural gas

Crossan, M. M., & Apaydin, M. (2010). *A multi-dimensional framework of organizational innovation: A systematic review of the literature*. Journal of management studies, 47(6), 1154-1191.

DNV GL (2016). LNG fuelled vessels, Ship list – Vessels in operation and vessels on order.

DNV-GL (2015). Development and operation of liquefied natural gas bunkering facilities.

DNV-GL (2015). LNG as ship fuel.

DNV-GL (2017). LNG safety.

DNV-GL(2018 a). Confirmed LNG newbuildings and retrofits for ships.

DNV-GL(2018b). Confirmed LNG newbuildings and retrofits for ships.

DNV-GL Maritime (2018). Alternative Fuels and Technologies for Greener Shipping – Summary of an assessment of selected alternative fuels and technologies.

EMSA (2018). Guidelines of LNG bunkering system.

Grea, S. (2000). *Dentro la crescita dell'impresa. Le analisi SWOT e PAR* (Vol. 81). FrancoAngeli.

International Maritime Organisation (2014). Third IMO Greenhouse Gas Study.

Kunreuther, H. C., Linnerooth, J., Lathrop, J., Atz, H., Macgill, S., Mandl, C., ... & Thompson, M. (2012). *Risk analysis and decision processes: the siting of liquefied energy gas facilities in four countries*. Springer Science & Business Media.

Kyvik, O., & Gjosaeter, A. S. (2017). Environmentally sustainable innovations in offshore shipping: A comparative case study. Journal of Innovation Management, 5(1), 105-131.

Leigh, D., & Pershing, A. J. (2006). SWOT analysis. *The handbook of human performance technology*, 1089-1108.

MarTech LNG - Marine Competence, Technology and Knowledge Transfer for LNG (Liquid Natural Gas) in the South Baltic Sea Region, European Project (2014).

McGuire, G., & White, B. (2016). *Liquefied gas handling principles on ships and in terminals*, 4th Edition.

Mokhatab, S., Mak, J. Y., Valappil, J. V., & Wood, D. A. (2013). *Handbook of liquefied natural gas*. Gulf Professional Publishing.

Pickton, D. W., & Wright, S. (1998). What's swot in strategic analysis?. *Strategic change*, 7(2), 101-109.

Piercy, N., & Giles, W. (1989). Making SWOT analysis work. *Marketing Intelligence & Planning*, 7(5/6), 5-7.

Stavros N. (2015). Technological Guidance on LNG Bunker Vessels & Barges. ABS - American Bureau Of Shipping.

Sutton, J. (1991). *Sunk costs and market structure: Price competition, advertising, and the evolution of concentration*. MIT press.

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, 14(3), 207-222.