

## Projet TDI RETE-GNL

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

### Output T2.1.1 “Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire”



TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 “Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire”



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## Sommario

<b>1. DESCRIPTION ET RÉSULTAT DU PROJET T2.1.1 (ÉTUDE POUR UN PLAN D'ACTION COMMUN POUR LE GNL DANS LA ZONE PORTUAIRE)</b> .....	<b>9</b>
<b>2. FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.1.1 "BILAN DES PROJETS ET ÉTUDES CONSACRÉS À L'OFFRE ET À LA DEMANDE DE SERVICES D'AVITAILLEMENT DANS LES PORTS"</b> 15	
<b>2.1. Objectif du produit T2.1.1</b> .....	15
<b>2.2. Section A: Projets européens</b> .....	17
<b>2.3. Section C: Documents académiques</b> .....	25
2.3.1. <i>Les dimensions spatiales et temporelles</i> .....	34
2.3.2. <i>La perspective théorique adoptée (theoretical perspective)</i> .....	35
2.3.3. <i>Le type de document et la méthode appliquée</i> .....	37
2.3.4. <i>Technologies de soutage</i> .....	39
<b>3. FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.1.2 " RAPPORT DE CARTOGRAPHIE DE LA DEMANDE "</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1. Objectif du produit T2.1.1</b> .....	41
<b>3.2. La demande de GNL: caractéristiques et spécificités</b> .....	41
<b>3.3. La demande de GNL dans le secteur maritime-portuaire: le modèle conceptuel proposé</b> 42	
3.3.1. <i>Demande maritime</i> .....	43
3.3.2. <i>Demande portuaire de GNL</i> .....	44
3.3.3. <i>Demande terrestre de GNL</i> .....	44
<b>3.4. Profils méthodologiques liés à l'analyse de la demande de GNL</b> .....	45
3.4.1. <i>Demande de GNL maritime: délimitation du champ d'enquête, sources de collecte des données et structure du questionnaire aux armateurs.</i> .....	45
<b>3.5. Cartographie de la demande maritime de GNL: résultats de l'analyse empirique</b> .....	48
3.5.1. <i>Analyse de l'état actuel et prospectif de la flotte internationale propulsée au GNL</i> .....	48
3.5.2. <i>Analyse de la flotte au GNL opérant en Europe</i> .....	52
3.5.3. <i>Analyse de la flotte au GNL exploitée par des armateurs italiens et français</i> .....	56
3.5.4. <i>Analyse de la flotte alimentée au GNL dans la zone méditerranéenne et dans la zone du programme.</i> 57	
<b>3.6. Cartographie de la demande portuaire de GNL: résultats de l'analyse empirique</b> .....	58
3.6.1. <i>Terminal general cargo</i> .....	58
3.6.2. <i>Vrac liquide</i> .....	59
3.6.3. <i>Vrac solide</i> .....	59
3.6.4. <i>Construction navale</i> .....	59
3.6.5. <i>Terminal passagers</i> .....	60
3.6.6. <i>Ports de plaisance</i> .....	60
3.6.7. <i>Autres activités</i> .....	60
3.6.8. <i>Calcul des KPI liés à la consommation d'énergie du port</i> .....	60
3.6.9. <i>Méthodologie utilisée</i> .....	61

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



3.6.10.	<i>Analyse des besoins énergétiques du port de Gênes</i>	63
3.6.11.	<i>Analyse des besoins énergétiques du port de Livourne</i>	63
3.6.12.	<i>Analyse des besoins énergétiques du port de Toulon</i>	63
3.7.	<b>Cartographie de la demande de terrain de GNL: résultats de l'enquête empirique</b>	65
3.7.1.	<i>Demande de soutage de GNL connectée au parc de véhicules terrestres GNL</i>	65
3.7.2.	<i>Réflexions sur la consommation potentielle de GNL dans la zone industrielle</i>	67
4.	<b>FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.1.3 " ETUDE POUR UN PLAN D'ACTION COMMUN POUR LE GNL DANS LA ZONE PORTUAIRE "</b>	<b>69</b>
4.1.	<b>Objectif du produit T2.1.3</b>	69
4.2.	<b>Examen des systèmes d'approvisionnement pour l'avitaillement, le stockage et la distribution de GNL: principales solutions technologiques.</b>	70
4.3.	<b>Profils méthodologiques</b>	70
4.3.1.	<i>Activités de type « en ligne recherche »</i>	71
4.3.2.	<i>Activités de type «sur le terrain»</i>	74
4.4.	<b>Résultats de la recherche empirique</b>	74
4.4.1.	<i>Positionnement du système d'infrastructure pour le GNL de la zone du programme par rapport à l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement européenne et au bassin méditerranéen</i>	74
4.4.2.	<i>Infrastructure pour le GNL en Italie: l'état de l'art</i>	76
4.4.3.	<i>Infrastructure de soutage et de stockage de GNL dans les ports de Ligurie</i>	80
4.4.4.	<i>Infrastructure de soutage et de stockage de GNL dans les ports de la Toscane</i>	84
4.4.5.	<i>Infrastructure de soutage et de stockage de GNL dans les ports de Sardaigne</i>	86
4.4.6.	<i>Les infrastructures GNL en France: l'état de l'art</i>	90
4.4.7.	<i>Infrastructure de soutage et de stockage de GNL dans les ports de la région PACA</i>	91
4.4.8.	<i>Infrastructure de soutage et de stockage de GNL dans les ports corses</i>	92
4.4.9.	<i>Considérations générales sur l'état actuel et futur des infrastructures de soutage et de stockage de GNL dans les ports de la Zone d'Objectif du Programme</i>	92
4.5.	<b>Business cases et bonnes pratiques dans les ports méditerranéens</b>	95
5.	<b>FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.2.1 "LIGNES DIRECTRICES POUR LA LOCALISATION ET LE DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS PORTUAIRES / DÉPÔTS DE GNL "</b>	<b>97</b>
5.1.	<b>Finalités du produit T2.2.1</b>	97
5.2.	<b>Aspects introductifs</b>	97
5.2.1.	<i>Le cadre réglementaire</i>	97
5.2.2.	<i>Considérations techniques sur l'utilisation comme combustible marin</i>	98
5.2.3.	<i>Criticités liées à l'utilisation du GNL pour la propulsion marine</i>	98
5.2.4.	<i>Systèmes de soutage et chaînes d'approvisionnement</i>	99
5.3.	<b>Composants des installations de GNL et des dépôts portuaires</b>	101
5.3.1.	<i>Utilisateurs navals</i>	102
5.3.2.	<i>Transfert de GNL : camions-citernes et conteneurs ISO</i>	102
5.3.3.	<i>Transfert par navire</i>	102



5.3.4.	<i>Stockage au sol</i> .....	103
<b>5.4.</b>	<b>Macro-localisation des installations portuaires et des dépôts de GNL</b> .....	<b>103</b>
5.4.1.	<i>Exemples de réseaux de soutage et de réseaux SSLNG</i> .....	104
5.4.2.	<i>Possibilités de ravitaillement</i> .....	105
5.4.3.	<i>Exemples d'évaluation dans le zone cible</i> .....	105
5.4.4.	<i>Références réglementaires</i> .....	106
5.4.5.	<i>Processus d'autorisation</i> .....	107
<b>5.5.</b>	<b>Micro-localisation des installations de GNL</b> .....	<b>107</b>
<b>5.6.</b>	<b>Le dimensionnement des installations de GNL et des installations de stockage dans l'environnement maritime et portuaire</b> .....	<b>107</b>
<b>6.</b>	<b>FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.2.2 "BONNES PRATIQUES POUR LA PLANIFICATION DE LA DISPOSITION ET L'ORGANISATION DES PROCESSUS"</b> .....	<b>111</b>
6.1.	<b>Finalités du produit T2.2.2</b> .....	<b>111</b>
6.2.	<b>Business cases - port de Gênes</b> .....	<b>112</b>
6.2.1.	<i>Introduction</i> .....	113
6.2.2.	<i>Description du système</i> .....	113
6.2.3.	<i>Aspects du projet, d'autorisation et de construction</i> .....	113
6.2.4.	<i>Emplacement</i> .....	114
6.2.5.	<i>Procédures de fourniture pour le bunker</i> .....	114
6.2.6.	<i>Utilitaires et distribution</i> .....	114
6.2.7.	<i>Dimensionnement et indicateurs de performance clés (KPI)</i> .....	114
6.2.8.	<i>Layout et processus</i> .....	115
6.2.9.	<i>Procédures de sûreté et de sécurité</i> .....	116
6.2.10.	<i>Contraintes environnementales</i> .....	116
6.3.	<b>Business cases port de Savona-Vado Ligure</b> .....	<b>116</b>
6.3.1.	<i>Introduction</i> .....	117
6.3.2.	<i>Description du système</i> .....	117
6.3.3.	<i>Aspects de projet, d'autorisation et de construction</i> .....	117
6.3.4.	<i>Emplacement</i> .....	117
6.3.5.	<i>Procédures de fourniture pour le bunker</i> .....	117
6.3.6.	<i>Utilitaires et distribution</i> .....	118
6.3.7.	<i>Dimensionnement et indicateurs de performance clés (KPI)</i> .....	118
6.3.8.	<i>Layout et processus</i> .....	118
6.3.9.	<i>Procédures de sûreté et de sécurité</i> .....	119
6.3.10.	<i>Contraintes environnementales</i> .....	119
6.4.	<b>Business cases - port de Livourne</b> .....	<b>119</b>
6.4.1.	<i>Introduction</i> .....	119
6.4.2.	<i>Description du système</i> .....	119



6.4.3.	<i>Aspects de projet, d'autorisation et de construction.</i>	120
6.4.4.	<i>Emplacement.</i>	120
6.4.5.	<i>Procédures de fourniture pour le bunker.</i>	120
6.4.6.	<i>Utilitaires et distribution.</i>	121
6.4.7.	<i>Dimensionnement et indicateurs de performance clés (KPI).</i>	121
6.4.8.	<i>Procédures de sûreté et de sécurité.</i>	121
6.4.9.	<i>Contraintes environnementales.</i>	121
<b>6.5.</b>	<b>Business cases - port de Cagliari.</b>	121
6.5.1.	<i>Introduction.</i>	122
6.5.2.	<i>Description du système.</i>	123
6.5.3.	<i>Aspects de projet, d'autorisation et de construction.</i>	124
6.5.4.	<i>Emplacement.</i>	125
6.5.5.	<i>Procédures de fourniture pour le bunker.</i>	125
6.5.6.	<i>Utilitaires et distribution.</i>	126
6.5.7.	<i>Dimensionnement et indicateurs de performance clés (KPI).</i>	126
6.5.8.	<i>Layout et processus.</i>	127
6.5.9.	<i>Procédures de sûreté et de sécurité.</i>	128
6.5.10.	<i>Contraintes environnementales.</i>	128
<b>6.6.</b>	<b>Business cases - port de Oristano.</b>	129
6.6.1.	<i>Introduction.</i>	130
6.6.2.	<i>Description du système.</i>	131
6.6.3.	<i>Aspects de projet, d'autorisation et de construction.</i>	131
6.6.4.	<i>Emplacement.</i>	132
6.6.5.	<i>Procédures de fourniture pour le bunker.</i>	132
6.6.6.	<i>Utilitaires et distribution.</i>	133
6.6.7.	<i>Dimensionnement et indicateurs de performance clés (KPI).</i>	134
6.6.8.	<i>Layout et processus.</i>	135
6.6.9.	<i>Procédures de sûreté et de sécurité.</i>	136
6.6.10.	<i>Contraintes environnementales.</i>	137
<b>6.7.</b>	<b>BUSINESS CASES - PORT DE TOULON.</b>	139
6.7.1.	<i>Introduction.</i>	139
6.7.2.	<i>Description du système.</i>	139
6.7.3.	<i>Aspects de projet, d'autorisation et de construction.</i>	140
6.7.4.	<i>Emplacement.</i>	140
6.7.5.	<i>Procédures de fourniture pour le bunker.</i>	141
6.7.6.	<i>Utilitaires et distribution.</i>	141
6.7.7.	<i>Dimensionnement et indicateurs de performance clés (KPI).</i>	141
6.7.8.	<i>Layout et processus.</i>	141



6.7.9.	<i>Procédures de sûreté et de sécurité</i> .....	141
6.7.10.	<i>Contraintes environnementales</i> .....	142
<b>7.</b>	<b>FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.3.1 "OUTILS DE GESTION POUR L'ÉVALUATION DES INVESTISSEMENTS DANS LES INSTALLATIONS D'APPROVISIONNEMENT ET DE STOCKAGE DE GNL DANS LES PORTS"</b> .....	<b>143</b>
7.1.	<b>Objectif du produit T2.3.1</b> .....	143
7.2.	<b>Profils méthodologiques</b> .....	143
7.3.	<b>Description des postes de coût</b> .....	144
7.4.	<b>Évaluation économico-financière des différentes solutions de soutage GNL</b> .....	146
7.4.1.	<i>Ship to Ship (STS)</i> .....	146
7.4.2.	<i>Truck to Ship (TTS)</i> .....	150
7.4.3.	<i>Pipe to Ship (PTS)</i> .....	153
7.4.4.	<i>Comparaison des coûts OPEX-CAPEX des différentes solutions de soutage de GNL analysées</i> 157	
7.5.	<b>Analyse du mark up multi-scenario</b> .....	160
7.6.	<b>Mécanismes incitatifs pour les investissements dans les technologies "green"</b> .....	172
<b>8.</b>	<b>FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.3.2 "OUTILS DE GESTION POUR L'ÉVALUATION DES INVESTISSEMENTS DANS LES INSTALLATIONS D'APPROVISIONNEMENT ET DE STOCKAGE DE GNL DANS LES PORTS"</b> .....	<b>173</b>
8.1.	<b>Objectif du produit T2.3.2</b> .....	173
8.2.	<b>Analyse de l'état de l'art sur les cycles cogeneratifs et trigeneratifs</b> .....	173
8.2.1.	<i>Technologies de cogénération</i> .....	174
8.2.2.	<i>Bénéfices résultant de l'utilisation de la cogénération</i> .....	180
8.3.	<b>Aspects thermodynamiques et réduction de l'impact environnemental des centrales cogénératives</b> .....	181
8.4.	<b>Évaluation économique et financière des coûts liés aux technologies de cogénération</b> ....	182
8.5.	<b>Besoins énergétiques des zones portuaires de la zone de référence</b> .....	185
8.6.	<b>Exemples d'application de plantes cogénératives et trigénératives</b> .....	190
8.7.	<b>État de la technique et examen des profils empiriques liés aux applications des usines de co- et de trigénération de GNL dans les portes maritimes au niveau national</b> .....	191
8.8.	<b>Co- et tri-generation dans le domaine port maritime: bonnes pratiques au niveau international</b> .....	194
<b>9.</b>	<b>FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.4.1 "RAPPORT DE CLASSIFICATION ET EXAMEN DES RISQUES DES INSTALLATIONS DE GNL DANS LA ZONE PORTUAIRE"</b> .....	<b>196</b>
9.1.	<b>Objectif du produit T2.4.1</b> .....	196
9.2.	<b>Les principes réglementaires internationaux, européens et nationaux</b> .....	196
9.3.	<b>Méthodologie d'analyse des risques</b> .....	198
9.3.1.	<i>Le concept de risque</i> .....	198
9.3.2.	<i>Méthodes d'évaluation</i> .....	198
9.3.3.	<i>Valeurs seuils et critères d'acceptabilité</i> .....	199
9.4.	<b>Caractéristiques des GNL et taxonomie des risques</b> .....	200



9.4.1.	<i>Limites d'inflammabilité</i>	200
9.4.2.	<i>Comparaison GNL/GPL</i>	200
9.4.3.	<i>Gaz d'évaporation (boil-off gas)</i>	201
9.4.4.	<i>Contact GNL</i>	201
9.4.5.	<i>Stratification et roll-over</i>	201
9.4.6.	<i>Sloshing</i>	201
9.4.7.	<i>Transition rapide de phase (Rapid Phase Transition)</i>	202
9.4.8.	<i>BLEVE (boiling liquid expanding vapour explosion)</i>	202
9.4.9.	<i>Explosion d'un nuage de vapeur (Vapor Cloud Explosion - VCE)</i>	202
9.4.10.	<i>Jet fire, pool fire e flash fire</i>	202
9.4.11.	<i>Asphyxie</i>	202
9.4.12.	<i>Terrorisme</i>	203
9.4.13.	<i>Tremblements de terre</i>	203
9.4.14.	<i>Pertes de GNL</i>	203
9.5.	<b>Systèmes de transfert de gaz naturel liquéfié</b>	203
9.6.	<b>La gestion des risques dans le secteur portuaire</b>	204
9.6.1.	<i>La définition des zones</i>	205
9.7.	<b>Application préliminaire dans la zone portuaire</b>	207
10.	<b>FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.4.2 " BASE DE DONNÉES DES ACCIDENTS ET DES RISQUES"</b>	<b>214</b>
10.1.	<b>Objectif du produit T2.4.2</b>	214
10.2.	<b>Classification des différents types de risques et dangers</b>	214
10.3.	<b>Classification des risques adoptée dans la base de données et autres profils méthodologiques</b>	215
10.4.	<b>Résumé des principaux résultats observés</b>	218
10.5.	<b>Un exemple d'application de l'analyse des risques : le cas français</b>	220
11.	<b>FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.4.3 "LIGNES DIRECTRICES POUR LA MÉTHODOLOGIE ACV DANS LES SYSTÈMES D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE"</b>	<b>223</b>
11.1.	<b>Objectif du produit T2.4.3</b>	223
11.2.	<b>Aspects généraux de l'avitaillement en GNL</b>	223
11.2.1.	<i>Nature et caractéristiques du gaz naturel liquéfié (GNL)</i>	223
11.2.2.	<i>Avantages environnementaux du GNL</i>	223
11.2.3.	<i>Chaîne logistique du GNL</i>	224
11.2.4.	<i>Mode de soutage du GNL</i>	225
11.3.	<b>La méthode d'Analyse du Cycle de Vie (ACV)</b>	227
11.3.1.	<i>Généralités et objectifs de la méthode d'analyse du cycle de vie (ACV)</i>	227
11.3.2.	<i>La norme de référence pour l'analyse du cycle de vie</i>	227
11.3.3.	<i>Cadre de référence conceptuel pour l'ACV de soutage de GNL</i>	228
11.4.	<b>Éléments d'impact environnemental liés à l'utilisation du GNL</b>	235



11.4.1.	<i>Système d'interface entre les ports et les navires</i>	235
11.4.2.	<i>Installation côté port (Port Side)</i>	239
11.4.3.	<i>BREF - Best Available Techniques Reference</i>	247
11.5.	<b>Lignes directrices pour l'application de la méthode Ica au soutage de GNL</b>	247
11.5.1.	<i>Éléments pour l'analyse de l'inventaire (LCI) et l'évaluation de l'impact du cycle de vie (LCIA)</i>	248
11.6.	<b>Spécificités géographiques dans l'application de LCA</b>	256
11.7.	<b>Domaines d'application de la LCA</b>	256
12.	<b>FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.4.4 " BONNES PRATIQUES DE RÉDUCTION DES RISQUES ET IMPACTS DU GNL "</b>	<b>259</b>
12.1.	<b>Objectif du produit T2.4.4</b>	259
12.2.	<b>Risques et dangers générés par les installations de GNL</b>	259
12.2.1.	<i>Dangers liés aux caractéristiques du GNL</i>	259
12.2.2.	<i>Risques liés aux opérations de stockage et de soutage du GNL</i>	260
12.2.3.	<i>Risques liés aux aspects externes des installations</i>	261
12.3.	<b>Situation des principales directives, codes, normes et guides sur le soutage de GNL</b>	262
12.3.1.	<i>Directives européennes</i>	262
12.3.2.	<i>Codes internationaux</i>	262
12.3.3.	<i>Autres normes de référence</i>	263
12.4.	<b>Les bonnes pratiques pour la réduction des risques et des impacts</b>	264
12.4.1.	<i>Grands principes de mise en œuvre</i>	264
12.4.2.	<i>Grands principes de sécurité</i>	265
12.4.3.	<i>Dispositions relatives à la construction et obstacles techniques</i>	266
12.4.4.	<i>Mesures organisationnelles</i>	266
12.5.	<b>L'analyse des risques appliquée au cas de la Corse</b>	266
12.5.1.	<i>Danger : soutage de GNL</i>	266
12.5.2.	<i>Exemple de zone de sécurité</i>	267
12.6.	<b>Recommandations de bonnes pratiques (contribution du CCIVAR/TECHNIP FMC)</b>	267
12.6.1.	<i>Conduites de raccordement pour le stockage sous pression et conduites de raccordement pour les entrepôts non pressurisés</i>	267
12.6.2.	<i>Chaîne de sécurité / MMR dite instrumentée</i>	268
12.6.3.	<i>Détection</i>	269
12.6.4.	<i>Traitement</i>	270
12.6.5.	<i>Systèmes d'action d'urgence</i>	271
12.6.6.	<i>Systèmes de collecte d'air</i>	272
12.6.7.	<i>Systèmes de collecte des pertes</i>	272
12.6.8.	<i>Sistema di protezione antincendio</i>	273
12.6.9.	<i>Effets domino</i>	273

## **1. DESCRIPTION ET RÉSULTAT DU PROJET T2.1.1 (ÉTUDE POUR UN PLAN D'ACTION COMMUN POUR LE GNL DANS LA ZONE PORTUAIRE)**

Le projet Interreg Italie-France Maritime 1420 «Technologies et dimensionnement des installations pour le RÉSEAU de distribution primaire de GNL dans les ports de la zone transfrontalière» (TDI RETE-GNL) vise à améliorer la durabilité des activités portuaires commerciales, contribuant à la réduction des émissions en soutenant la planification et le développement des infrastructures de ravitaillement et de stockage de GNL dans les ports de la zone du programme. L'objectif poursuivi est en effet d'encourager l'utilisation du gaz naturel liquéfié (GNL) comme carburant alternatif pour la navigation, en référence à différents types de navires. Le projet TDI RETE-GNL est un projet appartenant à la catégorie "simple", d'une durée de 30 mois dont le partenariat constitué de :

- ✓ Chef de file : Université de Gênes - Centre d'excellence italien sur les infrastructures et la logistique et les transports (UNIGE-CIELI), chef de projet scientifique Prof. Giovanni Satta,
- ✓ Partenaire 2 : Université de Pise, partenaire scientifique Prof. Romani Giglioli,
- ✓ Partenaire 3 : Université de Cagliari - Département des sciences économiques et commerciales (UNICA-CIREM), partenaire scientifique Prof. Paolo Fadda,
- ✓ Partenaire 4 : Office des Transports de la Corse (OTC), Directeur associé Dr. Josè Bassu,
- ✓ Partenaire 5 : Chambre de Commerce et d'Industrie du Var (CCIV), Directeur associé Dr. Elena Tonon.

Considérant la nécessité de développer une approche systémique et intégrée du problème lié à la disponibilité des services de soutage et de stockage de GNL dans les ports de la zone du programme, le projet a identifié les bases communes à adopter dans l'espace maritime transfrontalier Italie-France qui permettent la création d'un réseau primaire de distribution de GNL basé sur des caractéristiques technologiques homogènes et l'adoption de procédures liées aux opérations de soutage qui soient au moins connues et partagées entre les acteurs de la chaîne d'approvisionnement correspondante dans les mêmes ports.

Le système global de fourniture de services de soutage de GNL dans l'environnement portuaire maritime et la chaîne d'approvisionnement correspondante doivent en effet être planifiés (en termes de localisation, de dimensionnement et de sélection des options technologiques à adopter) à la fois par les décideurs politiques compétents et par les parties privées intéressées par les activités susmentionnées (par exemple, les opérateurs de terminaux, les compagnies de navigation, etc.), afin de répondre aux besoins quantitatifs et qualitatifs exprimés par la demande de l'armateur et des autres utilisateurs et clients potentiels dans la chaîne technologique-production. À cette fin, le projet s'est fixé pour objectif d'identifier des solutions opérationnelles innovantes en réponse aux besoins de transport et de connexion logistique entre des zones géographiquement proches, qui augmenteront la durabilité à long terme des activités portuaires maritimes, grâce à la diffusion du GNL comme carburant de substitution.

Le projet, grâce au développement de produits techniques et scientifiques spécifiques (décrits et brièvement examinés ci-dessous) a atteint les résultats cognitifs attendus lors de la définition de la forme du projet. En détail, le projet TDI RETE-GNL a prévu la réalisation de deux produits finaux qui consistent en la préparation d'un rapport pour la définition de normes technologiques et de procédures communes pour le soutage du GNL (auquel ce document fait référence), et d'un plan d'action intégré au



En outre, le chef de file du projet UNIGE-CIELI a signé, avec la Région Ligurie, l'Autorité du système portuaire maritime de la Ligurie occidentale et orientale, la Capitainerie, la Ville métropolitaine et la Municipalité de Gênes et d'autres institutions, le protocole d'accord pour la promotion, la diffusion, la mise en œuvre et l'acceptation sociale d'un réseau de distribution de gaz naturel liquéfié en Ligurie, à compter du 2 décembre 2019<sup>1</sup>.

*Figure 2. Adhésion au protocole d'accord pour la promotion, la diffusion, la construction et l'acceptation sociale d'un réseau de distribution de gaz naturel liquéfié en Ligurie.*



Compte tenu de ce qui précède, ce document constitue le produit T2.1.1 "Etude pour un plan d'action conjoint pour le GNL dans la zone portuaire" du projet. Le document est la synthèse et la relecture analytique des différents produits techniques développés par le partenariat dans le cadre de l'activité T2.1, 2.2., 2.3, 2.4 visée dans la composante T2 :

- Activité T2.1 : Analyse des principales conditions de l'offre et de la demande au niveau actuel et futur dans la zone de programme
- Activité T2.2 : Étude sur la localisation et le dimensionnement des différentes infrastructures et des composants du système GNL qui y sont liés
- Activité T2.3 : Évaluation économique et financière
- Activité T2.4 : Lignes directrices pour l'évaluation des externalités et de l'impact environnemental

Ces activités visent notamment à :

- définir un ensemble de connaissances communes et partagées sur l'état actuel et futur de la demande et de l'offre de services de soutage de GNL dans les ports de la zone cible,

<sup>1</sup> Le protocole signé représente un seuilicum sur le territoire national et vise à introduire le GNL comme carburant alternatif pour des activités portuaires plus respectueuses de l'environnement et à répondre à la demande croissante de GNL côté terre, ainsi qu'à représenter un cadre d'interprétation unitaire pour expliquer ses avantages pour l'environnement et la sécurité. Le protocole permet également aux acteurs qui l'ont signé de participer activement à l'identification des lieux où placer d'éventuels systèmes de soutage et de stockage pour la demande côté mer.

- Fournir des modèles conceptuels pour appuyer les décisions sur l'emplacement et le dimensionnement des installations de ravitaillement et de stockage de GNL dans les ports cibles,
- préparer les premiers modèles théoriques et outils de gestion opérationnelle pour soutenir les évaluations préliminaires de la viabilité économique et financière des projets d'installations de GNL dans la zone portuaire
- développer un corpus commun de connaissances fonctionnelles pour garantir une attention maximale dans l'évaluation des externalités et des impacts environnementaux liés au GNL, en tenant compte des risques et de la criticité potentielle.

L'utilité et la validité du produit dépendent également de la capacité effective de diffuser et de disséminer les résultats de la recherche en question, en atteignant de manière ciblée les différents groupes et catégories d'acteurs de nature publique, privée ou mixte qui sont intéressés par les activités en question.

C'est précisément pour cette raison que les activités mentionnées ci-dessus, la préparation des produits connexes et la formulation des résultats liés à la composante T2 ont été conçus et développés en étroite collaboration entre tous les partenaires du projet qui ont contribué aux résultats finaux et qui ont chacun pour la partie de compétence de développer un réseau technique fonctionnel pour obtenir une large diffusion sur le territoire transfrontalier des résultats techniques et scientifiques partagés.

Le résultat est basé sur une série d'études conjointes intégrées les unes aux autres afin d'arriver à un document de synthèse qui présente une structure logique "tabulaire". Cette solution formelle, choisie par le partenariat, est strictement fonctionnelle afin que le document puisse devenir un outil "agile" et "intelligent", mais en même temps techniquement détaillé, pour transmettre les résultats du projet aux différentes catégories de groupes cibles et de parties prenantes qui ont des besoins d'information, des compétences techniques, un savoir-faire et des exigences fonctionnelles très hétérogènes en ce qui concerne le GNL.

La structure formelle choisie est également conforme à la nécessité de mettre à la disposition de ces groupes cibles et parties prenantes une série d'outils analytiques pour soutenir les processus décisionnels qui sont suffisamment rationalisés et efficaces pour garantir leur nature conviviale et leur utilisation efficace. Ce profil est particulièrement pertinent si l'on considère que ces outils doivent également permettre aux décideurs politiques de les aider à prendre des décisions sur les questions de GNL dans le contexte maritime-portuaire. Bien entendu, outre les résultats de ce projet, il reste la possibilité pour toutes les catégories de groupes cibles et de parties prenantes de consulter et d'examiner les produits techniques individuels du projet liés aux activités T.2.1, T2.2, T2.3, T2.4. La documentation pertinente est en fait disponible dans la section TDI RETE-GNL de la plate-forme web fournie par le programme INTERREG ITA-FRA Marittimo 1420 (<https://web.regione.toscana.it/marittimo>).

Il convient également de souligner que, compte tenu de la nature des principaux partenaires du projet et du rôle du projet lui-même en ce qui concerne le cluster GNL, les activités, les produits techniques et les résultats finaux de TDI RETE-GNL présentent également une valeur et une pertinence de nature académique et scientifique, ce qui est significatif en ce qui concerne l'impartialité des résultats et des objectifs de recherche. En fait, une grande partie des conclusions ont été validées sur le plan technique et scientifique grâce au partage et au retour d'informations obtenus dans d'importants forums universitaires et scientifiques tels que la conférence 2019 de l'Association internationale des

économistes maritimes (AIEM) à Athènes, la conférence 2020 de l'AIEM à Hong Kong et la participation à des événements tels que la semaine maritime de Gênes 2019, la conférence GNL 2019 et la semaine maritime de Naples 2020.

Toujours en référence à la nature partagée et participative du projet, il est nécessaire de souligner que le projet est basé sur l'implication de groupes cibles identifiés, conformément au formulaire de projet, en 3 catégories de base, à savoir :

- ✓ Organismes de droit public : le projet a impliqué les gestionnaires de ports et d'autres autorités locales compétentes dans la définition de normes technologiques et procédurales pour le stockage et la fourniture de GNL. La participation active au projet d'organismes de droit public de différentes zones géographiques incluses dans la zone du Programme renforce la valeur transfrontalière du projet et devient essentielle pour garantir des opportunités concrètes de diffusion de résultats techniques et scientifiques partagés sur le territoire.
- ✓ Organismes publics : le projet a prévu une stratégie visant à construire un réseau de relations existantes entre les partenaires scientifiques et technologiques inclus dans l'initiative et une multiplicité d'organismes publics régionaux et territoriaux intéressés par la zone du programme et par le développement de solutions dans les ports de Gênes, Savone, La Spezia, Cagliari, Toulon et Bastia. La participation active au projet des organismes publics a représenté une source d'information importante en raison de leur connaissance des territoires impliqués dans le projet et des questions liées au GNL, tant du point de vue de la demande de transport et des systèmes actuels d'approvisionnement en infrastructures de transport liés au projet, que de leur rôle potentiel dans la promotion et la diffusion du GNL dans les ports.
- ✓ Organismes privés : le projet a vu la participation significative d'acteurs privés tels que des opérateurs de terminaux, des armateurs, des fournisseurs de services portuaires opérant dans les zones portuaires du programme ainsi que de multiples consultants et experts externes possédant une vaste expertise du GNL afin de garantir la pleine conformité des profils scientifiques et théoriques par rapport aux besoins fonctionnels et techniques réels constatés empiriquement dans la zone étudiée. La participation active de ce groupe cible a représenté une source d'information et de savoir-faire technique incontestable en raison des connaissances que ces opérateurs possèdent en matière de définition des normes technologiques à adopter dans les différents contextes, d'un point de vue économique et organisationnel-opérationnel. Ce groupe cible, ainsi que les deux groupes décrits ci-dessus, a donc contribué aux diverses activités techniques décrites dans ce produit.

Vous trouverez ci-dessous une liste détaillée des 11 produits techniques prévus dans le formulaire en rapport avec les activités T2.1, T2.2, T2.3, T2.4 et qui font l'objet de l'examen de l'Output

1. Produit T2.1.1 : Examen des projets et études consacrés à la demande et à l'offre de services de soutage dans les ports.
2. Produit T2.1.2 : Rapport sur la cartographie de la demande.
3. Produit T2.1.3 : Rapport sur la cartographie de l'offre.
4. Produit T2.2.1 : Lignes directrices pour la localisation et le dimensionnement des installations portuaires/points de déchargement de GNL.
5. Produit T2.2.2 : Meilleures pratiques pour la planification du layout et l'organisation des processus.
6. Produit T2.3.1 : Outils de gestion pour l'évaluation des investissements dans les installations d'approvisionnement et de stockage de GNL dans les ports.

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

7. Produit T2.3.2 : Rapport sur les synergies : profils économiques, économies d'énergie, durabilité environnementale.
8. Produit T2.4.1 : Rapport de classification et d'examen des risques des installations de GNL dans l'environnement portuaire
9. Produit T2.4.2 : Base de données sur les accidents et les risques.
10. Produit T2.4.3 : Lignes directrices sur la méthodologie de l'ACV dans les systèmes d'évaluation des incidences sur l'environnement.
11. Produit T2.4.4 : Meilleures pratiques pour la réduction des risques et des impacts du GNL.

## **2. FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.1.1 "BILAN DES PROJETS ET ÉTUDES CONSACRÉS À L'OFFRE ET À LA DEMANDE DE SERVICES D'AVITAILLEMENT DANS LES PORTS"**

### **2.1. Objectif du produit T2.1.1**

Le produit T2.1.1 "Bilan des projets et études dédiés à la demande et à l'offre de services d'avitaillement dans les ports", selon les dispositions du formulaire de projet, consiste en la création d'une base de données visant à suivre l'état d'avancement des études, recherches et projets d'importance européenne et nationale concernant l'état actuel et les perspectives d'avenir de la demande et de l'offre d'infrastructures pour le ravitaillement en GNL dans la zone portuaire.

En particulier, le Chef de file du projet UNIGE-CIELI avec le soutien du Partenaire P3 (UNICA-CIREM), après avoir convenu avec tous les partenaires du projet du schéma conceptuel à utiliser pour créer la BD en question, en cohérence avec les finalités du Produit T2.1.1. a préparé un DB créé en mode Excel divisé en 3 sections relatives à des documents de différents types:

- Section A: projets européens;
- Section B: études des sociétés de conseil privés ou d'organismes publics;
- Section C: documents académiques.

Le DB global, composé des 3 sections susmentionnées, a ensuite été examiné et validé par les partenaires du projet.

Compte tenu des dispositions du formulaire et des spécificités du projet dans son ensemble, les activités de recherche se sont concentrées sur la collecte de données fonctionnelles à la préparation des sections A et C. Toutefois, par souci d'exhaustivité, le contenu des principales études, développés par des sociétés de conseil privés ou des organismes publics, a également été vérifié (Section B). La Figure 3 montre le DB développé en référence à la Section B.



Figure 3. DB “Bilan des projets et études dédiés à l'offre et à la demande de services de soutage dans les ports” - Section B

CODE	Auteur	Titolo del progetto/report	Tipo di documento/progetto_Categoria	Anno di pubblicazione del report (o di inizio del progetto)	Fonte del report	Focus	Mappatura domanda bunkering GNL	Mappatura offerta bunkering GNL	Copertura geografica	Paesi inclusi nell'analisi	Orizzonte temporale del report
B1	CIELI	LNG-fuelled deep sea shipping. The outlook for LNG bunker and LNG-fuelled newbuild demand up to 2025	Report	2012	Lloyd's register	Shipping industries e infrastrutture bunkering GNL	SI	SI	Mondiale	Vari	2012/2025 (report in corso)
B2	CIELI	Maritime Gas Fuel Logistics Developing LNG as a clean fuel for ships in the Baltic and North Seas	Report	2008	Report from the MAGALOG project	GNL facilities nei porti del Nord Europa (Bergen Y Gothenburg Y Świnoujście)	SI	SI	Europa del Nord	Norvegia, Svezia, Germania, Polonia	2008/2018 (reporto in corso)
B3	CIELI	Natural gas for ship propulsion in Denmark – Possibilities for using LNG and CNG on ferry	Report	2010	Danish ministry of the environment	Sviluppo attuale delle navi e dei terminal GNL per il settore ferry e short sea small cargo	SI	SI	Europa del Nord	Danimarca, Norvegia	Non viene quantificato un orizzonte temporale di
B4	CIELI	Forecasting port-level demand for LNG as a ship fuel: the case of the port of Antwerp	Report	2016	Journal of Shipping and Trade	Porto di Anversa: Domanda potenziale futura di GNL (forecasting LNG demand at port level)	SI	SI	Europa del Nord	Belgio	2016/2025 (report in corso)
B5	CIELI	LNG BUNKERING PROCEDURES IN PORTS AND TERMINALS IN THE SOUTH BALTIC SEA REGION	Report	2014	MarTech LNG* funded by European Regional	Procedure di bunkeraggio GNL nei porti e terminali GNL di tutta la regione del Mar Baltico meridionale	SI	SI	Europa del Nord / Mar Baltico	Vari	2014/2025 (report in corso)
B6	CIELI	LNG as ship fuel Benefits and challenges for conversions to LNG fuel	Report	2016	DNV GL	Shipping industries	SI	SI	Mondiale	Vari	2016-2022 (report in corso)
B7	CIELI	LNG AS SHIP FUEL THE FUTURE – TODAY	Report	11/2014	DNV GL	Shipping industries	SI		Mondiale	Vari	2014-2018 (report in corso)
B8	CIELI	LNG – A COST-EFFICIENT FUEL OPTION? Drivers, status and economic viability	Report	15/05/2014	DNV GL	Shipping industries e infrastrutture bunkering GNL	SI	SI	Mondiale	Vari	2014-2020 (report in corso)
B9	CIELI	INNOVAZIONI TECNOLOGICHE PER LA RIDUZIONE DELLE EMISSIONI DA TRASPORTO MARITTIMO	Report	08/04/2015	ISPRA	Bunkering infrastructure	SI	SI	Europa	Italia, Norvegia	2015-2020 (report in corso)
B10	CIELI	The role of port authorities in the development of LNG bunkering facilities in North European ports	Report	14/01/2015	World Maritime University 2015	Bunkering infrastructure		SI	Europa del Nord	Belgio, Olanda, Germania, Svezia	2015/2016 (report concluso)
B11	CIELI	The world's LNG-fuelled fleet in service in 2017	Report	2017	LNG World shipping	Shipping industries	SI		Mondiale	Vari	2017/2022 (report in corso)
B12	CIELI	IN FOCUS: THE LNG FUELLED FLEET - AN EXPANDING SECTOR WITHIN THE SHIPPING FLEET	Report	2017	Ocean shipping consultants	Shipping industries	SI		Mondiale	Vari	2017/2026 (report in corso)
B13	CIELI	DNVGL Technology Week 2016, Update on Alternative Maritime fuels	Report	10/10/2016	DNV GL	Shipping industries e bunkering infrastructure	SI	SI	Mondiale	Vari	2016/2018 (report in corso)
B14	CIELI	Uptake of LNG as a fuel for shipping	Report	22/11/2017	DNV GL	Shipping industries e bunkering infrastructure	SI	SI	Mondiale	Vari	2017/2020 (report in corso)
B15	CIELI	HIGHLIGHT PROJECTS IN THE LNG AS FUEL HISTORY	Report		DNV GL	Shipping industries	SI		Mondiale	Vari	
B16	CIELI	THE DEVELOPMENT OF THE LNG-FUELLED FLEET AND THE LNG-BUNKERING INFRASTRUCTURE WITHIN THE BALTIC AND NORTH SEA REGION	Report	2015		Shipping industries e bunkering infrastructure	SI	SI	Europa del Nord	Vari	2015/next years

Source: notre élaboration.

La Figure 4 montre l'une des diapositives présentées lors du comité de pilotage tenu à Pisa le 21/02/2019, en référence à l'avancement des travaux du produit T2.1.1 "Bilan des projets et études consacrés à l'offre et à la demande de services de soutage dans les ports".

Figure 4. Produit T2.1.1: présentation de l'avancement des travaux lors du CdP de Pisa le 21/02/2019.

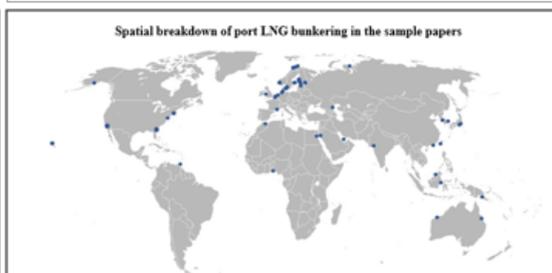
Analisi implementazione del prodotto T2.1.1 relativo a  
 "Review dei progetti e degli studi dedicati alla domanda e all'offerta di servizi di bunkering nei porti"  
 Fine Tuning

► **Tipologia di documenti considerati**

- ❖ Progetti europei (Sezione A)
- ❖ Studi di società di consulenza privata o enti pubblici (Sezione B)
- ❖ Paper accademici (Sezione C - completata)

- ❖ Creazione sezione dedicata ai contributi accademici e scientifici individuati con apposite Keywords **56 paper**, analizzati poiché inerenti al progetto TDI RETE-GNL **26 paper**.
- ❖ Esame dettagliato documenti fuori area obiettivo rilevanti sotto il profilo delle tecnologie di bunkering.  
 Nel dettaglio i **26 paper** sono così suddivisi: **12** relativi alla **domanda di servizi di bunkering/storage di GNL**, **12** relativi all'**offerta** e **2** relativi a **domanda/offerta**

Bunkering technologies discussed in the sample contributions	
Bunkering technologies	No of papers <sup>a,d</sup>
Ship-to-Ship (STS) (including Floating LNG Terminals)	10
Truck-to-Ship (TTS)	5
Port-to-Ship (PTS) and Terminal to Ship (TPS)	2
Mobile Fuel Tanks (MFT)	2
Equipment for bunkering LNG-fuelled ships (including: pressure pumps, seawater pumps, technologies related to bunkering procedures for LNG-fuelled ships, etc.	9
Not specified	8



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

Source: notre élaboration.

## 2.2. Section A: Projets européens

Afin de réaliser une analyse complète des preuves empiriques relatives à la demande et à l'offre d'infrastructures pour l'approvisionnement en GNL dans la zone portuaire, les principaux projets européens et nationaux axés sur le gaz naturel liquéfié ont été analysés.

Dans ce contexte, le partenariat du projet TDI RETE-GNL a développé une base de données dédiée aux projets européens et nationaux. En particulier, après une recherche et une analyse minutieuses, le Chef de Projet (UNIGE-CIELI) et le Partenaire 3 (UNICA-CIREM) ont identifié 77 projets à vocation européenne répartis comme suit: 44 projets européens de type RTE-T et CEF, 24 projets européens H2020, 4 projets européens Interreg, 1 projet européen (type de projet non spécifié) et les 4 projets nationaux-régionaux restants. Sur les 77 projets qui composent la base de données initiale, 43 projets liés au GNL ont été sélectionnés. Le domaine de compétence des projets a ensuite été identifié et une sélection conséquente a été faite sur le critère géographique.

Pour les objectifs du projet, une nouvelle sélection a été effectuée selon le critère de la zone cible; en fait, 23 projets ont été choisis comme échantillon final de la recherche, 22 des 43 précédemment sélectionnés pour leur concentration sur une ou les deux nations de la zone cible du projet TDI RETE-GNL (Tableau 2), auquel a été ajouté un autre projet intitulé "GoGNL", important pour l'analyse réalisée sur la base du contenu (centré sur la zone de l'Europe du Nord).

Tableau 1. Zone géographique des projets européens et nationaux relatifs au GNL.

<i>Projets européens et nationaux liés au GNL: zones géographiques</i>	<i>Totaux</i>
Europe du Nord	<b>19</b>
Europe Méditerranée	<b>20</b>
Europe multi-zones	<b>4</b>

Source: notre élaboration.

Tableau 2. Projets européens et nationaux axés sur la Zone d'Objectifs.

<b>Zone d'Objectifs</b>					
<i>Projets européens et nationaux (PON) et régionaux (POR) relatifs au GNL: zone méditerranéenne</i>	<b>Comprenant les deux nations de la zone d'objectif</b>	<b>Comprenant seulement la France</b>	<b>Comprenant seulement l'Italie</b>	<b>Ne comprenant ni l'Italie ni la France</b>	<b>Total</b>
<b>20</b>	5	4	9	<b>2</b>	<b>18</b>
<i>Projets européens liés au GNL: multi-zones</i>	<b>Comprenant les deux nations de la zone d'objectif</b>	<b>Comprenant seulement la France</b>	<b>Comprenant seulement l'Italie</b>	<b>Ne comprenant ni l'Italie ni la France</b>	<b>Total</b>
<b>4</b>	3	1	0	0	<b>4</b>
<i>Projets inclus dans l'échantillon final</i>					<b>22</b>

Source: notre élaboration.

Sur les 23 projets inclus dans l'échantillon, le Chef de file UNIGE-CIELI a procédé à l'analyse de 19 documents, tandis que les 4 autres ont été examinés par le Partenaire 3 UNICA-CIREM. Le partenariat a créé une base de données dans laquelle les dimensions analytiques suivantes ont été approfondies:

- Auteur;
- Titre du rapport;
- Focus;
- Cartographie de la demande de soutage de GNL (oui / non);
- Cartographie de l'offre de soutage de GNL (oui / non);
- Couverture géographique (zone/nation) ;
- Nations;
- Ports de la zone cible examinés dans le document;
- Horizon temporel du rapport.

La version complète de la base de données consacrée aux projets européens et nationaux est présentée dans la Tableau 3, Tableau 4 e Tableau 5.

Tableau 3. DB "Bilan des projets et études consacrés à l'offre et à la demande de services de soutage dans les ports" - Section A: Projets européens  
 (1/3)

<i>Auteur</i>	<i>Titre du rapport</i>	<i>Focus</i>	<i>Cartographie de la demande de soutage de GNL</i>	<i>Cartographie de l'offre de soutage de GNL</i>	<i>Couverture géographique Zone/Nation</i>	<i>Nations</i>	<i>Ports de la zone cible examinés dans le document</i>	<i>Horizon temporel du rapport</i>
CIELI	Costa II East-Poseidon Med	Infrastrutture per GNL	-	-	Europa (Mediterraneo)	Grecia, Cipro, Italia, Croazia, Slovenia	n.a.	12/2013-12/2015 (progetto concluso)
CIELI	SEAGAS	Implementazione impianti di bunkeraggio GNL	-	Si	Europa (Mediterraneo)	Francia e Spagna	Porto di Roscoff (Francia) e di Santander (Spagna)	01/2012-12/2015 (progetto concluso)
CIELI	LNG Masterplan for Rhine-Main-Danube	Implementazione GNL come carburante	Si	Si	Europa (Multiarea)	Austria, Belgio, Bulgaria, Repubblica Ceca, Francia, Germania, Italia, Lussemburgo, Paesi Bassi, Romania, Slovacchia, Cipro	n..a	01/2013-12/2015 (progetto concluso)
CIELI	Green technologies and eco-efficient alternatives for cranes & operations at port container terminals (GREENCRANES)	Green technologies	-	-	Europa (Mediterraneo)	Spagna, Slovenia, Italia	Porto di Valencia (Spagna), Koper (Slovenia), Livorno (Italia)	08/2012-05/2014 (progetto concluso)
CIELI	COSTA	GNL come sistema propulsivo delle navi	-	-	Europa (Mediterraneo)	Spagna, Portogallo, Italia, Grecia	n.a.	02/2012-04/2014 (progetto concluso)

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

CIELI	S/F SamueLNG for a Blue Atlantic Arch	GNL come sistema propulsivo delle navi	Sì	-	Europa (Multiarea)	Francia, Spagna, Germania	Porto di Nantes Saint-Nazaire, Gijon, Vigo, le Havre, Rouen	08/2016-06/2019 (processo in corso)
CIELI	Sustainable LNG Operations for Ports and Shipping - Innovative Pilot Actions (GAINN4MOS)	Progetto di bunkeraggio del GNL	Sì	Sì	Europa (Mediterraneo)	Spagna, Francia, Italia, Portogallo e Slovenia	Porti di Capodistria, La Spezia, Venezia, Fos-Marseille, Nantes-Saint-Nazaire	01/2015-09/2019 (progetto in corso)

Source: notre elaboration.

Tableau 4. DB "Bilan des projets et études consacrés à l'offre et à la demande de services de soutage dans les ports" - Section A: Projets européens (2/3)

<i>Auteur</i>	<i>Titre du rapport</i>	<i>Focus</i>	<i>Cartographie de la demande de soutage de GNL</i>	<i>Cartographie de l'offre de soutage de GNL</i>	<i>Couverture géographique Zone/Nation</i>	<i>Nations</i>	<i>Ports de la zone cible examinés dans le document</i>	<i>Horizon temporel du rapport</i>
CIELI	GAINN4CORE	Reti italiane per la distribuzione di GNL	-	Sì	Europa (Mediterraneo)	Italia	Genova, La Spezia, Livorno (rete Tirreno-Ligure), Ravenna e Venezia (rete Adriatico-Ionica)	06/2015-09/2019 (progetto in corso)
CIELI	LNG Logistics	Sviluppare una rete di distribuzione europea di GNL per vie navigabili interne	-	-	Europa (Mediterraneo)	Francia	Porto di Marseille fino al porto di Dijon	08/2016-10/2018 (progetto in corso)
CIELI	BioMovLNG	Infrastrutture per produzione stoccaggio di GNL	-	Sì	Europa (Mediterraneo)	Francia	n.a.	01/2015-09/2018 (progetto in corso)

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

CIELI	Boosting Energy Sustainable fuels for freight Transport in European motorWays (BESTWay)	Infrastrutture bunkering GNL	-	Sì	Europa (Mediterraneo)	Spagna, Francia	n.a.	09/2014-06/2018 (progetto in corso)
CIELI	GAINN4MED	Promuovere utilizzo di combustibili alternativi, trasporti multimodali	-	Sì	Europa (Mediterraneo)	Italia	n.a.	03/2017-03/2020 (progetto in corso)
CIELI	2016-IT-TM-0284-S Italy HDGAS Heavy Duty Gas Engines integrated into Vehicles	“GREEN VEHICLES” PRIORITY	Sì	-	Europa (Multiarea)	Austria, Italia, Germania, Francia	No	2015-05-01 to 2018-10-31 (progetto in corso)
CIELI	LeanShips Low Energy And Near to zero emissions Ships	“WATERBORNE” Priority	Sì	-	Europa (Multiarea)	Italy, Germany, France, Switzerland	No	2015-05-01 to 2019-04-30 (progetto in corso)
CIELI	GoLNG	Sviluppo della domanda e dell'accessibilità del GNL nella regione del Mar Baltico (BSR)	-	Sì	Europa del Nord	Paesi Mar Baltico	No	(progetto in corso)

Source: notre elaboration.

Tableau 5. DB "Bilan des projets et études consacrés à l'offre et à la demande de services de soutage dans les ports" - Section A: Projets européens  
 (3/3)

<i>Auteur</i>	<i>Titre du rapport</i>	<i>Focus</i>	<i>Cartographie de la demande de soutage de GNL</i>	<i>Cartographie de l'offre de soutage de GNL</i>	<i>Couverture géographique Zone/Nation</i>	<i>Nations</i>	<i>Ports de la zone cible examinés dans le document</i>	<i>Horizon temporel du rapport</i>
CIELI	GNL Fonte ACcessibile Integrata per la Logistica Efficiente GNL FACILE	Migliorare la sostenibilità delle attività portuali commerciali contribuendo alla riduzione delle emissioni di carbonio.	Si	Si	Europa (Mediterraneo)	Italia, Francia	Genova, Tolone, La Spezia, Marina di Carrara, Livorno, Bastia, Cagliari	2018-2021 (progetto in corso)
CIELI	Tecnologie e Dimensionamento di Impianti per la RETE di distribuzione primaria di GNL nei porti dell'area transfrontaliera TDI RETE-GNL	Migliorare la sostenibilità delle attività portuali commerciali contribuendo alla riduzione delle emissioni di carbonio.	Si	Si	Europa (Mediterraneo)	Italia, Francia	Genova, Tolone, La Spezia, Marina di Carrara, Livorno, Bastia, Cagliari	2018-2021 (progetto in corso)
CIELI	Strategie transfrontaliere per la valorizzazione del Gas Naturale Liquido SIGNAL	Migliorare la sostenibilità delle attività portuali commerciali contribuendo alla riduzione delle emissioni di carbonio.	Si	Si	Europa (Mediterraneo)	Italia, Francia	Genova, Tolone, La Spezia, Marina di Carrara, Livorno, Bastia, Cagliari	2018-2020 (progetto in corso)
CIELI	PROMO GNL	Migliorare la sostenibilità delle attività portuali commerciali contribuendo	-	-	Europa (Mediterraneo)	Italia, Francia	Genova, Tolone, La Spezia, Marina di Carrara, Livorno, Bastia, Cagliari	2018-2020 (progetto in corso)

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

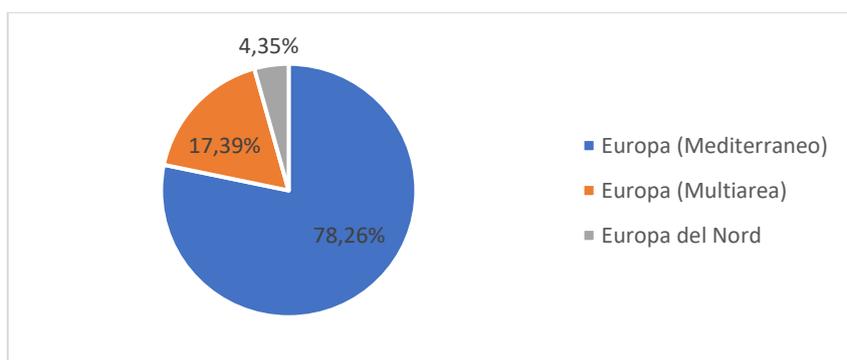
		alla riduzione delle emissioni di carbonio.						
UNICA	Accosto e deposito costiero di GNL nel Porto di Oristano. EDISON.	Deposito costiero per usi multipli (civile, ind.le, bunkering)	No	Sì	Europa (Mediterraneo)	Italia (Sardegna)	No	2020-2050 (progetto in corso)
UNICA	Terminal GNL nel Porto Canale di Cagliari - Impianto di stoccaggio e rigassificazione di GNL. ISGAS	Deposito costiero per usi multipli (civile, ind.le, bunkering)	No	Sì	Europa (Mediterraneo)	Italia (Sardegna)	No	2020-2050 (progetto in corso)
UNICA	Progetto di ampliamento del deposito costiero di Santa Giusta (OR). IVI PETROLIFERA	Deposito costiero per usi multipli (civile, ind.le, bunkering)	No	Sì	Europa (Mediterraneo)	Italia (Sardegna)	No	2020-2050 (progetto in corso)
UNICA	Impianto di stoccaggio di GNL da 9.000 mc a Santa Giusta (Or). HIGAS	Deposito costiero per usi multipli (civile, ind.le, bunkering)	No	Sì	Europa (Mediterraneo)	Italia (Sardegna)	No	2020-2050 (progetto in corso)

Source: notre elaboration.

À partir de l'analyse réalisée, outre la dimension géographique de l'échantillon qui représente le principal critère de sélection, la dimension temporelle, ou l'horizon temporel des projets, a également été mise en évidence. Sur les 23 projets inclus dans l'échantillon final, seuls 5 ont été conclus à la date de préparation du DB (date d'achèvement entre 2014 et 2017), tandis que les 18 autres sont en cours de planification car la question du gaz naturel liquéfié fait l'objet de l'attention des universitaires et des experts en particulier ces dernières années, et également en raison du nombre croissant d'appels de la CE visant à soutenir des études en faveur de l'introduction et de la diffusion du GNL comme carburant alternatif dans le secteur portuaire maritime.

En ce qui concerne l'analyse de l'orientation géographique de l'étude caractérisant l'échantillon sous enquête, comme souligné dans la Figure 5, 78,26% (18 projets sur 23 au total) se concentrent sur la zone méditerranéenne, 17,39% (4 sur 23) se caractérisent par une approche «multi-zones», tandis que 4,35% (projet) concerne la région de l'Europe du Nord. Cette dernière étude a été incluse dans le DB bien qu'elle ne prenne pas en compte le contexte méditerranéen, car le partenariat l'a considéré comme particulièrement pertinent pour les objectifs du projet TDI RETE-GNL. Évidemment, si tous les projets européens relatifs au GNL dans le domaine maritime-environnemental avaient été considérés, quelle que soit la couverture géographique, il y aurait eu une forte prépondérance de projets centrés sur les pays du nord de l'Europe qui ont traditionnellement une plus grande vocation pour ce type de carburant.

Figure 5. Couverture géographique du DB Section A.



Source: notre élaboration.

Les projets sélectionnés tous dédiés à la problématique du gaz naturel liquéfié comme solution alternative dans le contexte maritime portuaire sont caractérisés par des axes thématiques différents comme indiqué dans le Tableau 6. De ce point de vue, les thèmes qui sont principalement étudiés concernent: l'amélioration de la durabilité environnementale des activités portuaires dans les ports commerciaux (4 sur 23); l'évaluation de la possibilité de créer des gisements côtiers de GNL à usages multiples (2 sur 23) et l'utilisation du GNL comme carburant alternatif pour la propulsion des navires (2 sur 23); les projets restants se concentrent sur des sujets très hétérogènes comme indiqué dans le tableau.

Tableau 6. Focus DB Sezione A

<i>Focus progetti</i>	<i>N° progetti</i>
“GREEN VEHICLES” PRIORITY	1
“WATERBORNE” Priority	1
Deposito costiero per usi multipli (civile, ind.le, bunkering)	4
GNL come sistema propulsivo delle navi	2

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 “Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire”

Green technologies	1
Implementazione GNL come carburante	1
Implementazione impianti di bunkeraggio GNL	1
Infrastrutture bunkering GNL	1
Infrastrutture per GNL	1
Infrastrutture per produzione stoccaggio di GNL	1
Migliorare sostenibilità attività portuali commerciali	4
Progetto di bunkeraggio del GNL	1
Promuovere utilizzo di combustibili alternativi, trasporti multimodali	1
Reti italiane per la distribuzione di GNL	1
Sviluppare una rete di distribuzione europea di GNL per vie navigabili interne	1
Sviluppo della domanda e dell'accessibilità del GNL nella regione del Mar Baltico (BSR)	1
<b>Totale complessivo</b>	<b>23</b>

Source: notre élaboration.

### 2.3. Section C: Documents académiques

Dans le cadre du projet TDI RETE-LNG, une base de données spécifique a été créée avec l'objet des contributions académiques les plus pertinentes dédiées à l'analyse de la demande et / ou de l'offre d'infrastructures pour la fourniture de GNL dans les secteurs maritime et portuaire. Afin de procéder à une analyse détaillée de l'importance croissante du gaz naturel liquéfié en tant que carburant marin alternatif possible, et de la demande et de l'offre de services de soutage dans les ports qui en découlent, le partenariat du projet a réalisé une «revue systématique de la littérature» avec contributions académiques pertinentes au sujet.

A cet effet, une procédure en trois phases a été suivie, à savoir (i) la planification, (ii) l'exécution, (iii) le reporting, comme indiqué et suggéré par Tranfield et al. (2003). Tout d'abord, lors de la phase de planification, les documents publiés dans des revues et revues scientifiques ont été extraits via la base de données Elseviers Scopus, c'est-à-dire la plus grande base de données de résumés, de notes, de citations de littérature (qui comprend des revues scientifiques, des livres et des conférences). international ou conférence, à l'exclusion des documents publiés avant 2005 afin de inclure uniquement les publications mises à jour dans l'analyse. De cette manière, grâce à l'utilisation de requêtes composées de différents mots-clés spécifiques, des articles académiques ont été identifiés conformément à l'objectif de la recherche suivante.

Deuxièmement, la phase d'exécution est divisée en trois sous-phases conformément à Crossan et Apaydin (2003): a) définition des critères de sélection initiaux; b) création de groupes par pertinence des publications (regroupement des publications par pertinence); c) analyse et synthèse.

En référence à la définition des critères de sélection initiaux, la base de données Scopus a été analysée au travers de requêtes ad hoc avec l'utilisation de différents mots-clés cohérents avec l'objet de l'étude, à savoir l'offre et la demande d'infrastructures de soutage de GNL dans les ports. En particulier, 6 requêtes ont été effectuées à l'aide des mots-clés suivants:

- Id.1: LNG, propulsion, bunkering, ports;
- Id.2: LNG, propulsion, terminal;
- Id.3: LNG, bunkering, terminal;

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

- Id.4: LNG, bunkering, ports;
- Id.5: LNG, facilities, ports;
- Id.6: LNG, terminal, maritime.

Grâce à ce processus méthodologique, 53 articles académiques ont été identifiés auxquels s'ajoutent 6 articles présentés lors de la conférence IAME en 2018 avec un focus sur le gaz naturel liquéfié dans l'environnement portuaire maritime les 59 articles de la base de données initiale sont publiés dans différents journaux d'intérêt international comme, entre autres: Energy Policy, Journal of Natural Gas Science and Engineering, Transport Reviews et Transportation Research Part D - Transport and Environment.

En référence à l'étape liée à la création de groupes par pertinence des publications (regroupement des publications par pertinence), la base de données de référence a été soigneusement analysée afin d'écartier les études académiques non alignées sur l'objet de la recherche. À cette fin, les résumés de chaque document ont été analysés et ceux qui n'étaient pas pertinents pour l'objet de l'étude ont été éliminés. Par conséquent, une liste de 35 articles potentiellement pertinents a été obtenue. Enfin, après avoir analysé la version complète des articles suivants, après avoir exclu les mêmes contributions identifiées au travers de deux ou plusieurs requêtes et après avoir écarté les articles non disponibles via les moteurs de recherche utilisés (comme, par exemple, Google Scholar<sup>2</sup>), 26 articles ont été inclus dans l'échantillon final analysé à des fins de recherche.

Enfin, dans la phase d'analyse et de synthèse, chaque article appartenant à l'échantillon final a été soumis à une analyse détaillée complète; l'échantillon a en effet été examiné en référence à une large série de dimensions analytiques comprenant:

- Auteurs;
- Année;
- Journal;
- Titre;
- Domaine;
- Thèmes principaux / Focus\_Label; Thèmes principaux / Focus\_Descriptive;
- Côté demande (navire); Côté demande (navires) \_Dummy;
- Côté offre (stations de soutage); Côté offre (stations de soutage) \_Dummy;
- Technologies Bunkering\_Label; Technologies de Bunkering\_Descriptive;
- Objectifs du document\_Long;
- Résumé;
- Perspective\_label théorique;
- Type de document;
- Méthode;
- Unité d'analyse;
- Taille de l'échantillon;
- Case Study\_Dummy; Étude de cas;
- Couverture géographique (zone); Couverture géographique (pays); Couverture géographique (port);
- Zone d'objectif (oui / non / partiellement);

---

<sup>2</sup> Moteur de recherche qui vous permet de localiser des articles de littérature académique grâce à des mots clés spécifiques.

- Couverture horaire\_Début / fin; Couverture temporelle;
- Principaux résultats\_Label / Principaux résultats\_Descriptif;
- Type de données fournies;
- Remarques.

La revue systématique de la littérature réalisée par le chef de projet avec le soutien du partenariat a mis en évidence des informations importantes relatives au GNL dans le contexte maritime portuaire; en particulier, les questions suivantes ont été explorées:

- i) les dimensions spatiale et temporelle;
- ii) la perspective théorique adoptée;
- iii) le type de document et la méthode appliquée;
- iv) les technologies de soutage étudiées.

Les tableaux ci-dessous présentent les principaux résultats issus des recherches développées. La version complète de la base de données est disponible sur le portail du Programme Interreg Maritime14-20 (<https://web.regione.toscana.it/marittimo>).

Tableau 7. DB “Examen des projets et études consacrés à l'offre et à la demande de services d'avitaillement dans les ports ”- Section C: Documents académiques (1/4)

<i>Autori</i>	<i>Ann o</i>	<i>Principali topic/Focus</i>	<i>Tecnologie di bunkering_Label</i>	<i>Theoretical perspective_ Label</i>	<i>Tipologia del documento</i>	<i>Metodo</i>	<i>Copertura geografic a (area)</i>	<i>Principali risultati (focus)</i>
Lee S.-Y., Jo C., Pettersen B., Chung H., Kim S., Chang D.	2018	Operations	n.a.	Structural design theories & Investment decision perspectives	Research paper (quantitative)	Structural design based on finite element analysis; Numerical approaches (hydrodynamic diffraction analysis and hydrodynamic time response analysis); Costs/Benefits analysis, for estimating economic feasibility	Far East	Economics/Investment decisions; Environment & impacts/risks
Kwak D.-H., Heo J.-H., Park S.-H., Seo S.-J., Kim J.-K.	2018	Import/Export -Gas-liq	LNG ship technologies	Structural design theories & Energy evaluation	Research paper (quantitative)	Thermodynamic analysis; Sensitivity analysis	n.a.	Technical operations
Kim Y., Jung D., Cho S., Sung H.	2018	Operations	Ship to Ship (STS)	Potential theory	Research paper (quantitative)	Wave Green function method; Experiments (HOBEM: higher-order boundary element method)	n.a.	Environmental & impacts/risks; Technical operations
Shibasaki R., Kanamoto K., Suzuki T.	2018	Import/Export -Gas-liq	n.a.	Route choice analysis and modelling	Research paper (quantitative)	Network mapping analysis; Automatic Identification System (AIS)	Mondiale	Economics/Investment decisions; Market dynamics
Cassar M., Ballini F., Dalaklis D.	2018	Normative	Ship to Ship (STS); Truck to Ship (TTS)	Not applicable	Research paper (qualitative)	Single case study	Baltic	Economics/Investment decisions; Market dynamics; Regulations

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 “Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire”

Henese L., Gerlitz L., Jankowki S.	2018	Investment decisions	Ship to Ship (STS); Truck to Ship (TTS); Mobile Fuel Tanks (MFT)	Strategic management theories (value-chain theory)	Research paper (qualitative/quantitative)	Triangulation strategy (literature review, case studies, interviews)	Baltic	Environmental & impacts/risks; Technical operations
Henese L., Jankowski S.; Gerlitz L.	2018	Environment & impacts/risks	Ship to Ship (STS); Truck to Ship (TTS); Terminal/Pipeline to Ship (PTS)	Risk Assessment	Research paper (qualitative/quantitative)	Literature review, interviews, Monte Carlo simulation (MCS) model	n.a.	Technical operations

Source: notre élaboration.

Tableau 8. DB “Examen des projets et études consacrés à l'offre et à la demande de services d'avitaillement dans les ports ”- Section C: Documents académiques (2/4)

<i>Autori</i>	<i>Anno</i>	<i>Principali topic/Focus</i>	<i>Tecnologie di bunkering_Label</i>	<i>Theoretical perspective_Label</i>	<i>Tipologia del documento</i>	<i>Metodo</i>	<i>Copertura geografica (area)</i>	<i>Principali risultati_Label</i>
Yang D.; Xu H.	2018	Investment decisions	n.a.	Investment decision perspectives	Research paper (quantitative)	Cost Model, Empirical test	Europe	Economics/Investment decisions; Environment & impacts/risks
Duru O.; Tan R.	2018	Market dynamics	n.a.	Not applicable	Research paper (quantitative)	Cost-based valuation; energy content approach and predictive analytics	n.a.	Economics/Investment decisions; Environment & impacts/risks
Hua J., Wu Y., Chen H.	2017	Types of fuel	LNG ship technologies	Life-Cycle Assesment (LCA) & Risk Assessment	Research paper (qualitative)	Multiple case study	Far East	Environment & impacts/risks
Lee S.-G., Park J.-L.	2017	Operations	Ship to Ship (STS)	Information technologies (Space-Based Augmentation System)	Research paper (quantitative)	Single case study; Experiment	Mondiale	Technical operations

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 “Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire”

Schinas O., Butler M.	2016	Market dynamics	LNG ship technologies	Energy evaluation	Literature review	Literature review	Mondiale	Economics/Investment decisions; Environment & impacts/risks
Calderón M., Illing D., Veiga J.	2016	Market dynamics	Ship to Ship (STS); Truck to Ship (TST); Mobile Fuel Tanks (MFT); Terminal to Ship (TPS)	Not applicable	Research paper (quantitative)	Descriptive statistics	Mondiale	Economics/Investment decisions; Environment & impacts/risks
Lee S., Seo S., Chang D	2015	Environment & impacts/risks	LNG ship technologies	Risk Evaluation & Computational Fluid Dynamics (CFS) analysis	Research paper (quantitative)	Fire Frequency analysis; CFD-based consequence analysis	Americas	Technical operations; Environment & impacts/risks

Source: notre élaboration.

Tableau 9. DB “Examen des projets et études consacrés à l'offre et à la demande de services d'avitaillement dans les ports”- Section C: Documents académiques (3/4)

<i>Autori</i>	<i>Anno</i>	<i>Principali topic/Focus</i>	<i>Tecnologie di bunkering_Label</i>	<i>Theoretical perspective_Label</i>	<i>Tipologia del documento</i>	<i>Metodo</i>	<i>Copertura geografica (area)</i>	<i>Principali risultati_Label</i>
Yun S., Ryu J., Seo S., Lee S., Chung H., Seo Y., Chang D	2015	Operations	Ship to Ship (STS)	Life-Cycle Assesment (LCA) & Risk Evaluation	Research paper (qualitative)	Simulation method (single case study)	Far East	Technical operations; Environment & impacts/risks
Aymelek M., Boulougouris E.K.,	2015	Types of fuel	n.a.	Network Theory & Genetic algorithm	Research paper (qualitative)	Network design approach	Mondiale	Economics/Investment decisions; Environment & impacts/risks

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 “Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire”

Konovessis  
D.

Elgohary M.M., Seddiek I.S., Salem A.M.	2015	Types of fuel	LNG ship technologies	Life-Cycle Assessment (LCA) & Risk Assessment	Research paper (quantitative)	Benchmark analysis (focused on fuel consumption, cost saving, environmental benefits, gas storage, weight and volume change, conversion of engines, etc)	n.a.	Environment & impacts/risks
Seddiek I.S.	2015	Environment & impacts/risks	LNG ship technologies	Energy evaluation & Investment decision perspectives	Research paper (qualitative)	Multiple case study; Emission reduction analysis; Economic analysis	Europe	Environment & impacts/risks
Thomson H., Corbett J.J., Winebrake J.J.	2015	Environment & impacts/risks	n.a.	Energy evaluation & Life-Cycle-Assessment (LCA)	Research paper (quantitative)	Technology warming potential (TWP)	Baltic	Economics/Investment decisions; Environment & impacts/risks; Market dynamics; Technical operations
Wang S., Notteboom T.	2015	Others	Ship to Ship (STS); Truck to Ship (TTS)	Strategic management theories (Green and sustainable strategies; Regional Innovation System; Port governance)	Research paper (qualitative)	Multiple case study	Europe	Environmental & impacts/risks; Technical operations; Regulations

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 “Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire”

Wang S., Notteboom T.	2014	Types of fuel	n.a.	Strategic management theories	Literature review	Conceptual models (Porter's five forces model); Systematic literature review; PEST (Political, Economic, Social, Technologica) analysis	Mondiale	Economics/Investim ent decisions; Environnement & impacts/risks; Technical operations
--------------------------	------	---------------	------	-------------------------------------	----------------------	---	----------	---

Source: notre élaboration.

Tableau 10. DB "Examen des projets et études consacrés à l'offre et à la demande de services d'avitaillement dans les ports" - Section C: Documents académiques (4/4)

<i>Autori</i>	<i>Anno</i>	<i>Principali topic/Focus</i>	<i>Tecnologie di bunkering_ Label</i>	<i>Theoretical perspective_ Label</i>	<i>Tipologia del documento</i>	<i>Metodo</i>	<i>Copertura geografica (area)</i>	<i>Principali risultati_Label</i>
Gritsenko D., Yliskylä- Peuralaht J.	2013	Environment & impacts/risks	LNG ship technologies	Stakeholder Relationship Management (SRM)	Research paper (qualitative)	Single case study; Qualitative analysis of documents' content.	Baltic	Economics/Investime nt decisions; Environnement & impacts/risks; Technical operations; Regulations
Stanivuk T., Tokic T.	2013	Operations	n.a.	Not applicable	Research paper (quantitative)	Simulation methods	Mondiale	Environmental & impacts/risks; Market dynamics
Parfomak P.W., Vann A.	2011	Import/Export - Gas-liq	n.a.	Risk Assessment	Conceptual paper	Conceptual framework; Hazard Models	Americas	Environmental & impacts/risks

Franklin D., Reeve H., Hubbard B.	2010	Operations	Floating LNG Terminal; LNG ship technologies	Investment decision perspectives	Research paper (qualitative/quantitative)	Costs/Benefits analysis; Financial criteria (Net Present Value - NPV; Internal Rate of Return - IRR)	Worldwide	Economics/Investment decisions; Environment & impacts/risks; Technical operations
Dundović C., Basch D., Dobrota D.	2009	Operations	Pressure Pump; Seawater Pump	Not applicable	Research paper (quantitative)	General Purpose Simulation System (GPSS)	Europe	Technical operations; Market dynamics

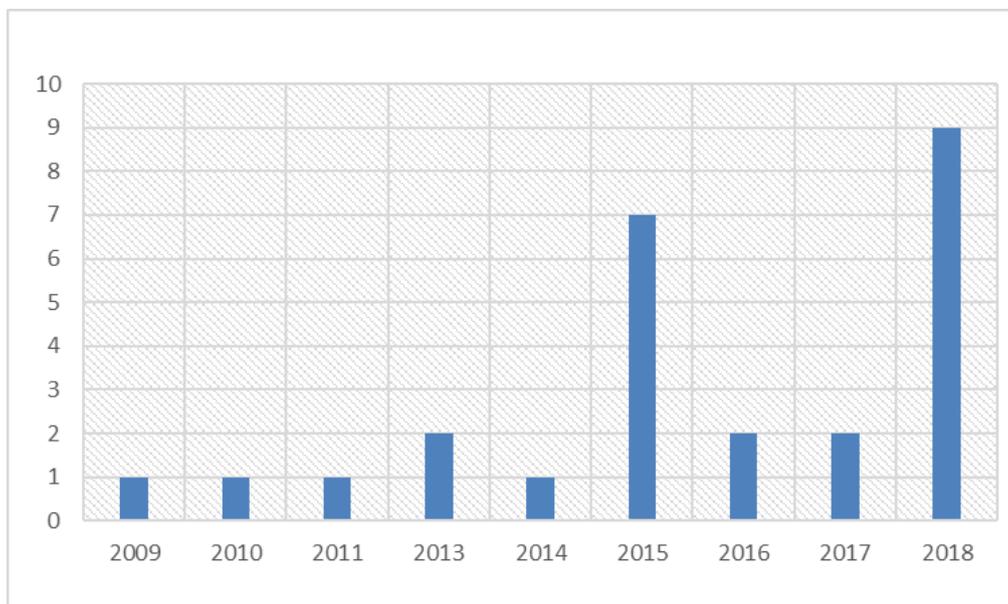
Source: notre élaboration.

### 2.3.1. Les dimensions spatiales et temporelles

Afin d'obtenir une vue d'ensemble de la dimension spatiale et temporelle par rapport au sujet analysé, ou de la demande et / ou de l'offre de solutions d'avitaillement en GNL dans les ports, les années ont été prises en compte pour l'aspect temporel. de publication des articles appartenant à l'échantillon final, pour l'aspect spatial les zones géographiques identifiées et les principaux ports couverts par les articles académiques.

Quant au calendrier des publications académiques incluses dans l'échantillon final, la Figure 6 Figure 6 montre l'importance croissante prise par le sujet en question ces dernières années. En fait, l'attention des universitaires et des experts sur la question du gaz naturel liquéfié en tant que carburant marin alternatif possible a augmenté de façon exponentielle ces 4 dernières années; En effet, 20 des 26 articles inclus dans l'échantillon ont été publiés entre 2015 et 2018.

Figure 6. Distribution temporelle DB "Bilan des projets et études consacrés à l'offre et la demande de services de soutage dans les ports" - Section C



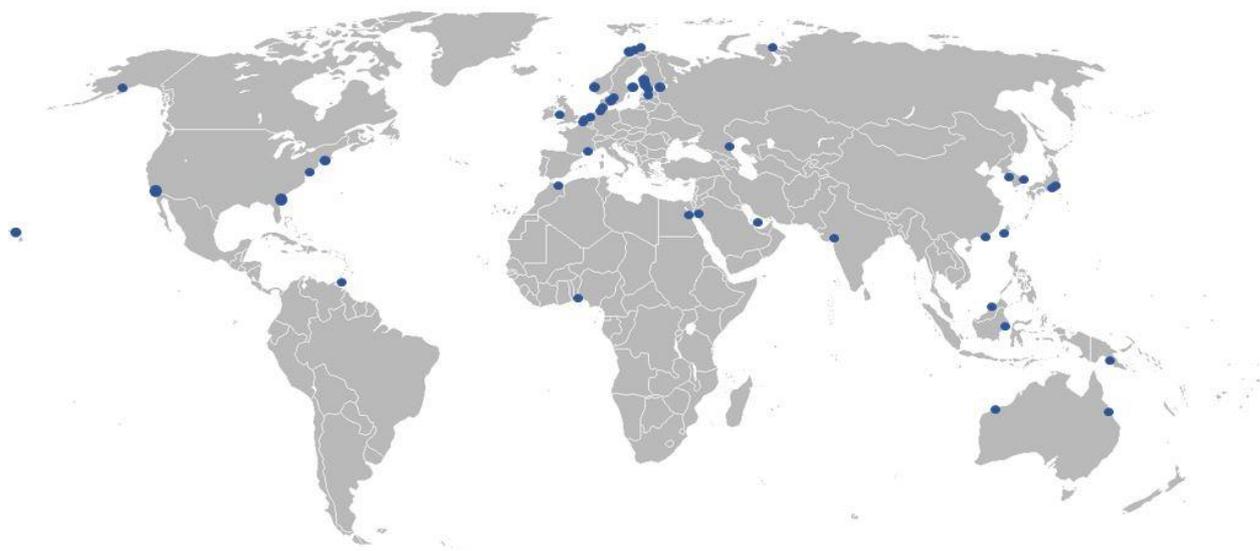
Source: notre élaboration.

Afin de mettre en évidence la couverture spatiale des documents, les principaux domaines considérés sont identifiés: les documents adoptent souvent une perspective internationale (8 articles sur 26 ne se réfèrent pas à une zone géographique spécifique mais considèrent l'international et présentent le terme «Monde» dans la base de données réalisé), tandis qu'une série de contributions académiques favorisent une orientation régionale. En particulier, les zones les plus étudiées sont: la Baltique (4), l'Europe (4), l'Extrême-Orient (3) et les Amériques (2). Au contraire, 5 des 26 publications considérées ne fournissent pas d'informations sur les profils spatiaux. Les principaux pays sont ensuite identifiés pour chaque zone géographique, et encore plus en détail les ports faisant l'objet d'analyses et d'études de cas (cfr. Figure 7).

Les principaux ports intéressés par la question de la durabilité environnementale sont concentrés dans la zone de l'Europe du Nord, cette zone étant une zone pionnière pour l'introduction et le développement de technologies pour le soutage de carburants GNL; en particulier, la mer du Nord et la mer Baltique représentent deux zones de contrôle des émissions, ou zones maritimes soumises à des contrôles plus

stricts afin de réduire et de minimiser les émissions dans l'atmosphère provenant des navires conformément aux réglementations internationales dans lesquelles le gaz naturel liquéfié comme Le carburant marin alternatif représente une excellente solution possible pour respecter les limites environnementales. Les business cases analysés se réfèrent également à la zone géographique du Moyen-Orient, en particulier la Chine. Enfin, les principaux ports américains ont également développé des solutions pour permettre le ravitaillement en GNL.

*Figure 7. Distribution spatiale DB "Examen des projets et études consacrés à l'offre et à la demande de services de soutage dans les ports" - Section C*



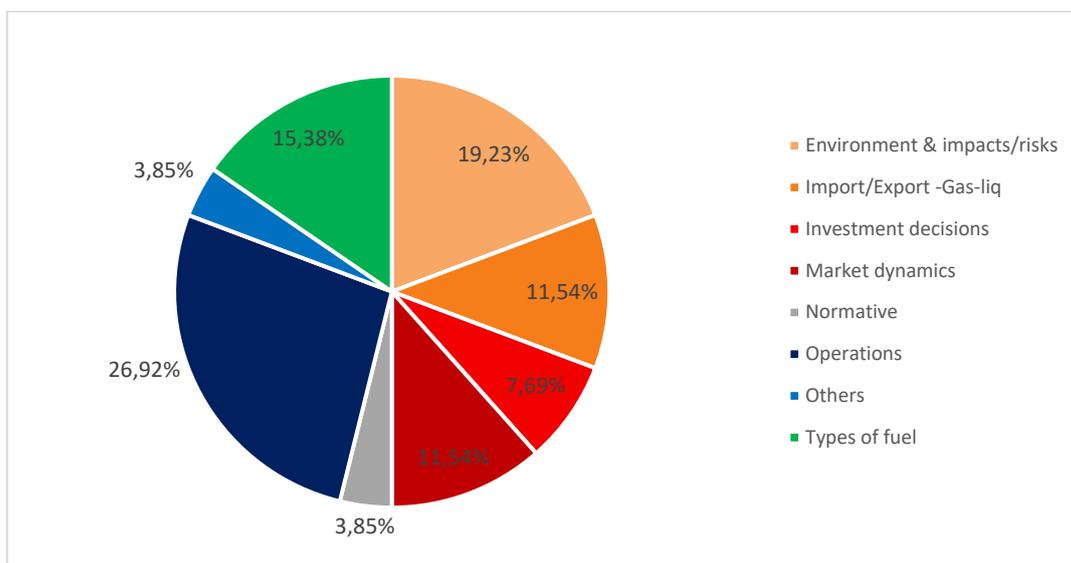
Source: notre élaboration.

### **2.3.2. La perspective théorique adoptée (theoretical perspective)**

Les sciences économiques / sociales, l'énergie, les sciences de l'environnement et l'ingénierie représentent les principaux domaines scientifiques dans lesquels sont encadrées les contributions scientifiques incluses dans l'échantillon final examiné par les travaux du projet. Ces résultats ne sont pas surprenants car l'adoption de ces technologies devrait avoir un impact significatif à la fois sur les questions environnementales (par exemple, Hua et al., 2017; Cassar et al., 2018) et sur la gestion de l'énergie (par exemple, Gritsenko et Yliskyla-Peuralaht, 2013). En outre, certaines publications se concentrent sur les dimensions de l'ingénierie technique (par exemple, Kwak et al., 2018; Henesey et al., 2018) et de nature essentiellement économique et financière (par exemple, Wang et Notteboom, 2014; Duru et Tan, 2018) sur l'introduction et le développement d'une solution de soutage de GNL dans les ports. L'examen et l'étude approfondie des documents en question ont permis de mettre en évidence quelques profils utiles tant pour les managers que pour les décideurs impliqués dans le secteur.

La revue systématique de la littérature réalisée a également permis de mettre en évidence les profils d'études les plus significatifs et les principaux résultats scientifiques déjà obtenus par l'académicien au sujet de l'introduction et de la diffusion du GNL en milieu portuaire maritime. Les opérations, les impacts / risques environnementaux et les types de combustibles sont les principaux sujets abordés dans les articles académiques analysés (Figure 8). Par ailleurs, les universitaires accordent également une attention particulière à l'étude des flux import / export dans les ports, à la dynamique relative du marché du gaz naturel liquéfié (*market dynamics*) et aux décisions d'investissement (*investment decisions*) et juridiques.

Figure 8. Principaux thèmes traités dans les contributions scientifiques incluses dans le DB "Examen des projets et études consacrés à l'offre et à la demande de services d'avitaillement dans les ports" - Section C



Source: notre élaboration.

Dans le Tableau 11 une description détaillée est fournie pour chaque sujet abordé dans les contributions scientifiques incluses dans l'échantillon final.

Tableau 11. Description détaillée des principaux thèmes traités dans les contributions scientifiques incluses dans le DB "Bilan des projets et études consacrés à la demande et à l'offre de services d'avitaillement dans les ports" - Section C

<b>Principali topic_Focus</b>	<b>N° documenti</b>
<b>Environment &amp; impacts/risks</b>	<b>5</b>
Studio che analizza differenti soluzioni per ridurre le emissioni delle navi. Case study relativo a due navi passeggeri ad alta velocità.	1
Studio empirico relativo alla riduzione del contenuto di zolfo nei carburanti marittimi nella regione del Mar Baltico.	1
Studio relativo al gas naturale liquefatto come carburante marittimo finalizzato alla quantificazione delle emissioni.	1
Valutazione del rischio connesso alle tecnologie automatizzate per il bunkeraggio di GNL	1
Valutazione del rischio di incendio di due tipi di sistemi di fornitura di gas naturale liquefatto.	1
<b>Import/Export -Gas-liq</b>	<b>3</b>
Analisi delle proposte per nuovi terminali costieri di importazione di GNL in tutti gli Stati Uniti.	1
Processo di liquefazione BOG su piccola scala utilizzato per le navi alimentate a gas naturale liquefatto.	1
Stima di un modello di spedizione globale tra porti di gas naturale attraverso l'analisi di un database relativo ai movimenti delle navi ed un metodo basato su informazioni provenienti da terminal di export e import mondiali.	1
<b>Investment decisions</b>	<b>2</b>
Importanza dell'inclusione delle industrie locali e del settore energetico nelle scelte di investimento per lo sviluppo di infrastrutture gnl	1
Valutazione della fattibilità economica di impiego di navi container alimentate a gnl sulle Northern Sea Route	1

**Interreg**UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale**TDI RETE-GNL**

<b>Market dynamics</b>	<b>3</b>
<i>Analisi relativa ai possibili meccanismi di determinazione del prezzo del mercato del gas naturale liquefatto e alle strategie di pricing</i>	1
<i>Metodo di valutazione delle iniziative commerciali finalizzate a promuovere il LNG come carburante marittimo.</i>	1
<i>Panoramica relativa all'utilizzo del GNL per l'industria marittima ed analisi del potenziale di crescita futura sulla base della flotta alimentata a GNL (corrente e in ordine) e dell'espansione pianificata degli impianti di bunkeraggio del GNL, principalmente nei porti europei.</i>	1
<b>Normative</b>	<b>1</b>
<i>Case study relativo alla normativa dello stato di Malta sul gas naturale liquefatto</i>	1
<b>Operations</b>	<b>7</b>
<i>Analisi delle caratteristiche idrodinamiche e della fattibilità operativa di un terminale di bunkeraggio a gas naturale liquefatto galleggiante (GNL) affiancato con una nave metaniera e due navette di rifornimento di GNL durante il processo di trasferimento di GNL.</i>	1
<i>Analisi di fattibilità relativa ad un nuovo sistema di ormeggio composto da una piattaforma galleggiante ancorata tramite pali al fondo marino al fine di realizzare un terminal LNG offshore</i>	1
<i>Analisi relativa alle caratteristiche richieste agli impianti di stoccaggio di gas naturale liquefatto a seconda delle condizioni meteorologiche presenti.</i>	1
<i>Metodo di simulazione per la valutazione della capacità di ricezione del terminale GNL.</i>	1
<i>Progettazione concettuale di un terminale di bunkeraggio di gas naturale liquefatto offshore</i>	1
<i>Studio relativo alla crescente opportunità di convertire le attuali navi metaniere (lng carriers ovvero LNGC) in centrali galleggianti di rifornimento di GNL.</i>	1
<i>Sviluppo e testing del Multiple Docking Aid System per un terminal di bunkering lng galleggiante</i>	1
<b>Others</b>	<b>1</b>
<i>Analisi del ruolo delle autorità portuali nello sviluppo di terminal di bunkering GNL nei porti del Nord Europa.</i>	1
<b>Types of fuel</b>	<b>4</b>
<i>Analisi di due differenti navi alimentate ad heavy fuel oil (HFO) e a liquified natural gas (LNG).</i>	1
<i>Analisi e confronto dei differenti carburanti alternativi esistenti in ambito marittimo, evidenziando l'importanza assunta del gas naturale liquefatto.</i>	1
<i>Analisi relativa all'utilizzo del LNG come combustibile marittimo per navi portacontainer in acque profonde sulle principali rotte marittime di linea.</i>	1
<i>Revisione sistematica di 33 studi pubblicati relativi all'utilizzo del GNL come combustibile per le navi.</i>	1
<b>Totale complessivo</b>	<b>26</b>

Source: notre élaboration.

Les principaux phénomènes analysés dans les documents sélectionnés sont: les perspectives d'analyse du cycle de vie (ACV) (par exemple, Thomson et al., 2015), les modèles d'évaluation des risques (par exemple, Henesey et al., 2018b), les théories de conception structurelle (par exemple, Kwak et al., 2018), Théories des réseaux et algorithmes génétiques (par exemple, Aymelek et al., 2015) et approches d'évaluation énergétique (par exemple Schinas et Butler, 2016). Cette dernière section comprend également des études approfondies consacrées à l'examen de l'indice visant à promouvoir l'utilisation la plus efficace de l'énergie par les moteurs et les équipements embarqués, ou l'EEDI (Energy Efficiency Design Index). En outre, les approches liées aux décisions de gestion environnementale, économique, sociale et stratégique sont de plus en plus utilisées.

### 2.3.3. Le type de document et la méthode appliquée

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

En ce qui concerne le type et la méthode appliqués, l'échantillon final est principalement représenté par des articles de recherche pour 88,5%, où les revues de la littérature (7,7%) et les études conceptuelles (3,8%) ne constituent que la partie résiduelle de l'échantillon entier. Sans surprise, les méthodes quantitatives surpassent les méthodes qualitatives utilisées dans la catégorie des articles de recherche (50,0% contre 26,9%): dans trois cas (11,5%), les auteurs combinent des méthodes quantitatives et qualitatives dans la même analyse.

*Tableau 12. Type de document / Méthode DB "Bilan des projets et études consacrés à la demande et à l'offre de services de soutage dans les ports" - Section C*

<i>Tipologia del documento/Metodo</i>	<i>N° documenti</i>	<i>%</i>
<b>Conceptual paper</b>	<b>1</b>	<b>3,85%</b>
Conceptual framework; Hazard Models	1	3,85%
<b>Literature review</b>	<b>2</b>	<b>7,69%</b>
Conceptual models (Porter's five forces model); Systematic literature review; PEST (Political, Economic, Social, Technologica) analysis	1	3,85%
Literature review	1	3,85%
<b>Research paper (qualitative)</b>	<b>7</b>	<b>26,92%</b>
Multiple case study	2	7,69%
Multiple case study; Emission reduction analysis; Economic analysis	1	3,85%
Network design approach	1	3,85%
Simulation method (single case study)	1	3,85%
Single case study	1	3,85%
Single case study; Qualitative analysis of documents' content.	1	3,85%
<b>Research paper (qualitative/quantitative)</b>	<b>3</b>	<b>11,54%</b>
Costs/Benefits analysis; Financial criteria (Net Present Value - NPV; Internal Rate of Return - IRR)	1	3,85%
Literature review, interviews, Monte Carlo simulation (MCS) model	1	3,85%
Triangulation strategy (literature review, case studies, interviews)	1	3,85%
<b>Research paper (quantitative)</b>	<b>13</b>	<b>50,00%</b>
Benchmark analysis (focused on fuel consumption, cost saving, environmental benefits, gas storage, weight and volume change, conversion of engines, etc)	1	3,85%
Cost Model, Empirical test	1	3,85%
Cost-based valuation; energy content approach and predictive analytics	1	3,85%
Descriptive statistics	1	3,85%
Fire Frequency analysis; CFD-based consequence analysis	1	3,85%
General Purpose Simulation System (GPSS)	1	3,85%
Network mapping analysis; Automatic Identification System (AIS)	1	3,85%
Simulation methods	1	3,85%
-Single case study; Experiment	1	3,85%
Structural design based on finite element analysis; Numerical approaches (hydrodynamic diffraction analysis and hydrodynamic time response analysis); Costs/Benefits analysis, for estimating economic feasibility	1	3,85%
Technology warming potential (TWP)	1	3,85%
Thermodynamic analysis; Sensitivity analysis	1	3,85%
Wave Green function method; Experiments (HOBEM: higher-order boundary element method)	1	3,85%
<b>Totale complessivo</b>	<b>26</b>	<b>100,00%</b>

Source: notre élaboration.  
 TDI RETE-GNL

Le Tableau 12 met en évidence non seulement le type de documents faisant l'objet de l'analyse effectuée par le partenariat mais aussi les méthodes d'analyse associées utilisées, avec une prédominance des méthodes quantitatives mais aussi une présence non négligeable de contributions «qualitatives» principalement attribuables à 'utilisation de techniques «d'étude de cas unique» et «d'études de cas multiples».

#### 2.3.4. Technologies de soutage

Enfin, toujours dans le cadre de la revue systématique de la littérature développée, la propension de chaque document inclus à aborder les problèmes liés à l'offre et à la demande d'infrastructures de soutage de GNL dans les ports a été évaluée. Cette étape a permis à l'équipe de travail du Chef de file UNIGE CIELI d'attribuer une variable fictive à chaque article (1 s'il traite de la question de l'offre et / ou de la demande, 0 s'il ne traite aucun problème lié à l'offre et / ou à la demande). Il est ressorti de cette analyse que 12 documents adoptent une perspective côté mer concernant les navires alimentés au GNL, en mettant l'accent sur la demande; 12 supposent une perspective terrestre, c'est-à-dire qu'ils concernent les stations de soutage de GNL, avec un focus sur l'offre; tandis que les 2 études restantes concernent les deux aspects. En référence à l'offre de services de soutage de GNL, et donc des solutions technologiques pour permettre le ravitaillement en gaz naturel liquéfié, 4 solutions de soutage ont été cartographiées, en cohérence avec la littérature existante sur le sujet (EMSA, 2018):

- i) Port-to-Ship (PTS) and Terminal-to-Ship (TPS);
- ii) Truck-to-Ship (TTS);
- iii) Ship-to-Ship (STS) (qui comprend aussi Floating LNG Terminals);
- iv) Mobile Fuel Tanks.

Deux étiquettes supplémentaires ont également été ajoutés afin de catégoriser les contributions axées sur les équipements de soutage de GNL (équipement de soutage des navires alimentés au GNL) et les contributions scientifiques sans analyse spécifique des options technologiques disponibles pour le soutage et le stockage du GNL (non précisé).

Le Tableau 13 souligne l'augmentation de la fréquence des articles consacrés à l'examen de la solution technologique STS (Ship-to-Ship) pour garantir le soutage de GNL aux navires alimentés au GNL, suivie des solutions technologiques TTS (Truck-to-Ship) et autres deux configurations.

*Tableau 13. DB Bunkering technologies "Examen des projets et études consacrés à l'offre et à la demande de services de soutage dans les ports" Section C*

<i>Tecnologie di bunkering</i>	<i>N° documenti</i>
Ship-to-Ship (STS) (including Floating LNG Terminals)	10
Truck-to-Ship (TTS)	5
Port-to-Ship (PTS) and Terminal to Ship (TPS)	2
Mobile Fuel Tanks (MFT)	2
Equipment for bunkering LNG-fuelled ships (including: pressure pumps, seawater pumps, technologies related to bunkering procedures for LNG-fuelled ships, etc.	9
Not specified	8

Source: notre élaboration.

Les activités de recherche liées au produit T2.1.1 ont également été validées et soutenues scientifiquement par la présentation des résultats de la recherche lors de la conférence internationale IAME 2019 à travers la présentation et la discussion du *full paper* indiqué ci-dessous:

- Satta G., Parola F., Duru O., Leotta C. (2019), “LNG bunkering solutions in ports: A literature review and research agenda”, International Association of Maritime Economists (IAME) Conference 2019, 25th-28th June 2019, Athens (Greece).

Il convient également de noter que lors du même événement, les deux résumés détaillés indiqués ci-dessous ont également été discutés, qui ont bénéficié des résultats des activités techniques menées dans le cadre du projet TDI RETE-GNL:

- Acciaro M., Parola F., Resta M., Satta G., Vitellaro F. (2019), “Demand Estimation for LNG Bunkering and Storage Services in Ports Using Bayesian Networks”, International Association of Maritime Economists (IAME) Conference 2019, 25th-28th June 2019, Athens (Greece).
- Satta G., Parola F., Fedi L., Giannoni M. (2019), “Funding LNG bunkering systems for European ports: from theory to practice”, International Association of Maritime Economists (IAME) Conference 2019, 25<sup>th</sup>-28<sup>th</sup> June 2019, Athens (Greece).



**Interreg**



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



### **3. FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.1.2 " RAPPORT DE CARTOGRAPHIE DE LA DEMANDE "**

#### **3.1. Objectif du produit T2.1.1**

Le produit T2.1.2 «Rapport de cartographie de la demande» examine et résume les principales caractéristiques actuelles et futures de la demande de GNL dans les ports de la zone du programme, en mettant un accent particulier sur l'examen de la flotte de GNL (et le type de services des transports fournis par les mêmes besoins énergétiques et liés), et sur les utilisations possibles du GNL dans le contexte portuaire et terrestre dans une logique de soutien à la chaîne d'approvisionnement maritime-portuaire. En outre, le document fournit des lignes directrices et des méthodologies techniques, visant à mesurer et à estimer les différentes quantités et variables impliquées dans l'analyse globale du marché du GNL pertinent en référence au contexte portuaire maritime. Le Produit identifie également les outils méthodologiques appropriés pour l'étude et l'analyse du marché que les différents décideurs publics et privés sont appelés à faire en référence aux choix de planification, de conception, de mise en œuvre, de gestion et de financement du SSLNG (Small Scale GNL) dans le secteur maritime portuaire. Le rapport constitue une première base pour établir les évaluations concernant le dimensionnement des installations de soutage et de stockage de GNL dans les ports de la zone du programme afin de soutenir leur introduction comme carburant marin alternatif. Au sein du Produit, les principales caractéristiques du marché du GNL sont d'abord brièvement examinées puis un modèle conceptuel est proposé pour faciliter l'analyse de la demande relative à un marché relativement récent et complexe caractérisé ces dernières années par des tendances et des moteurs de développement significatif.

Le produit T2.1.2, conformément à ce qui est prévu dans le formulaire de projet, a été créé par le chef de file, le partenaire P1 (UNIGE-CIELI) qui est chargé de préparer le rapport, avec la contribution directe des partenaires P2 (UNIFI) et P3 (UNICA-CIREM). Les partenaires P2 et P3 sont également responsables de la préparation du chapitre 7 du produit final T2.1.2. En outre, les partenaires P4 (OTC) et P5 (CCIVAR) ont soutenu les activités en cours et validé la formulation finale du produit associé. Par ailleurs, le partenaire P5 (CCIVAR) a produit, avec le soutien du consultant externe Lloyd's registrar, le rapport "Projet TDI-RETE-GNL T2.1.3 et T2.1.2 Cartographie de l'offre et de la demande en GNL en France avec Focus sur la Méditerranée, y compris les courses" afin d'étudier l'offre et la demande du région de la région française et celle de la Corse. Les différents partenaires du projet ont également pris en charge la cartographie et la collecte de données relatives aux domaines de compétence géographique relative.

#### **3.2. La demande de GNL: caractéristiques et spécificités**

Pour mieux comprendre les spécificités de la demande de GNL, il convient d'abord de définir le champ d'investigation examiné au sein du projet, considérant ainsi la chaîne technologique-production composée de 5 étapes telles que: extraction / production; liquéfaction; transport; regazéification; distribution logistique / marchés de sortie.

Au sein de la chaîne d'approvisionnement en GNL, en particulier, le «Small Scale LNG» (SSLNG) est défini comme l'ensemble des solutions technologiques de production qui concernent les différentes manières dont le GNL est géré en petites / moyennes quantités directement sous forme liquide (Remelje et Hoadley, 2006; Jokinen et al., 2015). Les services SSLNG peuvent être fournis à travers diverses solutions qui incluent, entre autres, des terminaux de regazéification adaptés, des navires de soutage, des pétroliers / conteneurs ISO, des dépôts côtiers fonctionnels pour l'ensemble de la chaîne logistique du GNL.

Sur la base de ce qui a été analysé, dans le contexte des marchés finaux, il est habituel d'articuler la demande de GNL dans les segments de marché suivants (Assocostieri, 2018; REF-E 2019; Liquigas, 2018):

- Secteur naval (soutage de GNL);
- Usages industriels et civils hors réseau (production d'électricité avec des générateurs pour l'autoproduction de l'entreprise ou pour des systèmes isolés et pour la production de chaleur à usage industriel ou civil);
- Automobile (y compris les véhicules routiers lourds et les véhicules routiers légers);
- Secteur ferroviaire (trains au GNL).

Les usages individuels et les segments de marché associés présentent des différences significatives tant par rapport aux volumes actuellement requis que par la dynamique et les tendances qui les caractérisent. Les usages industriels / civils automobiles et off-grid constituent actuellement les principaux segments de marché. Cependant, du point de vue de l'évolution et de la dynamique liées à la demande attribuable aux différents segments, ce sont les navires et camions GNL qui présentent des taux de développement croissants et les perspectives de marché les plus pertinentes. Selon les estimations de REF-E (2017), en 2020, la demande absorbée par la chaîne d'approvisionnement en GNL en aval devrait atteindre environ 120.000 tons / an, dont plus de 60% pour le transport routier (lourd et léger), 24% des utilisateurs industriels hors réseau, 12% pour le transport maritime tandis que les réseaux de distribution isolés devraient représenter moins de 3% du marché global.

### **3.3. La demande de GNL dans le secteur maritime-portuaire: le modèle conceptuel proposé**

Dans le cadre des activités de recherche liées au produit T2.1.2, le partenariat a développé et validé un modèle conceptuel visant à:

1. définir les différents segments de demande pertinents afin de quantifier la demande actuelle et future de services d'avitaillement et de stockage de GNL dans la zone portuaire maritime des ports inclus dans la zone de programme;
2. identifier, en relation avec les différents segments et agrégats, les méthodologies et techniques appropriées pour quantifier les volumes nécessaires à ce jour et estimés pour l'avenir.

À cette fin, le FC et les partenaires P2 (UNUPI) et P3 (UNICA-CIREM) ont développé conjointement un modèle conceptuel pour l'analyse et la cartographie de la demande de services d'avitaillement et de stockage de GNL dans l'environnement portuaire maritime qui comprend trois différents macro-segments, correspondant aux macro-zones dans lesquelles les besoins énergétiques associés sont générés, à savoir:

- Demande maritime;
- Demande portuaire;
- Demande terrestre.

Aux fins du projet, «demande maritime» signifie la demande de GNL directement attribuable au soutage de GNL pour la propulsion des navires; le terme «demande portuaire» fait référence aux besoins énergétiques générés dans les zones portuaires et qui peuvent être satisfaits grâce à l'utilisation du GNL comme carburant pour la production d'énergie; enfin, par «demande terrestre», nous entendons la demande de services d'avitaillement et de stockage de GNL dans la zone portuaire maritime qui, bien que ne provenant pas nécessairement du port, pourrait encore être satisfaite par des usines situées dans les mêmes zones portuaires.

Ce cadre a été validé par les partenaires du projet et par les chefs de file des autres projets CLUSTER GNL dans le cadre du 2e appel.

### **3.3.1. Demande maritime**

La mesure de la demande maritime (actuelle) de services d'avitaillement et de stockage de GNL et l'estimation du futur semblent complexes en raison des considérations suivantes:

- Analyse de la demande en relation avec les investissements infrastructurels (en réseaux et complexes): ces investissements et projets infrastructurels présentent des caractéristiques spécifiques attribuables aux concepts d'indivisibilité d'échelle et de techniques, d'indivisibilité temporelle et financière, et de «aussi peu que mixte».
- Méthodologies de mesure, d'estimation et de prévision à court et moyen / long terme: la demande maritime doit être examinée à la fois sous l'angle de sa cohérence actuelle et de son évolution future prévisible (horizons temporels plus longs qui nécessitent l'adoption conjointe de modèles de demande actuelle et techniques de prévision).
- Compréhension d'une pluralité d'acteurs publics et privés: les choix de planification et de programmation des investissements infrastructurels doivent concilier intérêts publics et privés.

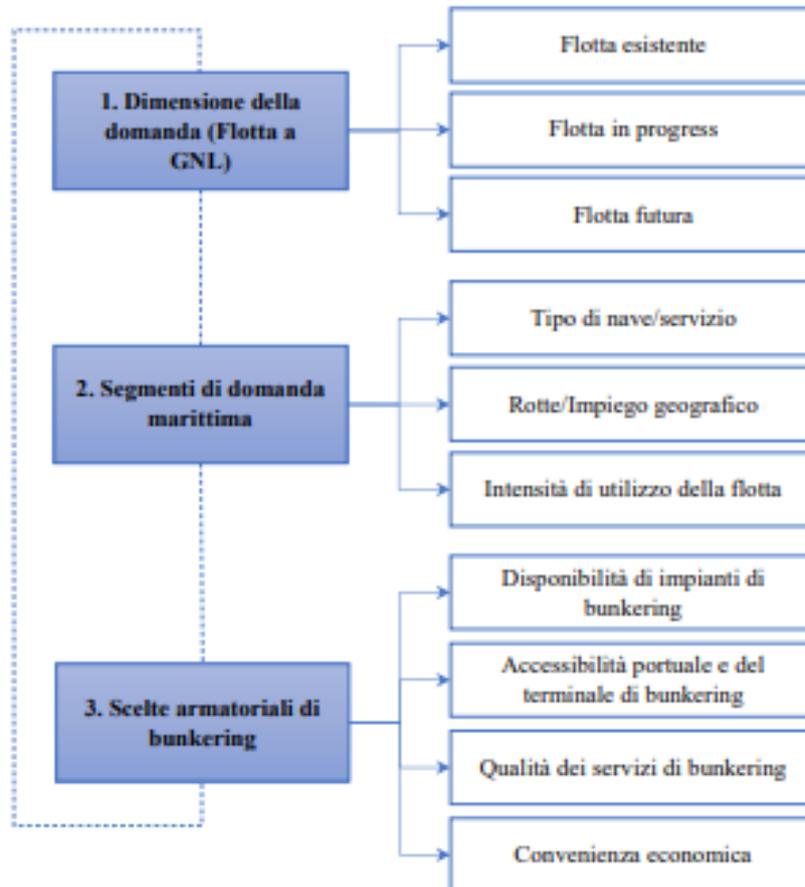
A partir des considérations ci-dessus, il apparaît nécessaire de développer un modèle conceptuel pour l'étude de la demande maritime de GNL visant à mesurer et à estimer à la fois l'état actuel de la flotte (2019) et ses perspectives d'évolution future à court (2021/2022), à moyen (2025) / 2026) et à long terme (2030).

La cartographie de la demande maritime de soutage de GNL, dans ses dimensions actuelles et prospectives, nécessite l'examen conjoint des profils fondamentaux suivants (Figura 9):

- Taille de la demande / flotte GNL: estimation de la flotte existante, flotte en réaménagement, flotte en carnet de commandes, flotte à partir des commandes futures, flotte à partir du réaménagement et des conversions futures.
- Segments de la demande maritime: pour chaque segment, examen d'éléments tels que le type de navire / service, les voies d'utilisation, l'intensité d'utilisation de la flotte.
- Choix des armateurs de soutage: facteurs tels que la disponibilité des systèmes de soutage, l'accessibilité technique / nautique du port / terminal de soutage de GNL, la qualité des services de soutage fournis, la commodité économique du choix du soutage.



Figura 9. Demande maritime de services de soutage de GNL: modèle de référence théorique



Source: notre élaboration.

### 3.3.2. Demande portuaire de GNL

Pour réaliser l'analyse de la demande portuaire en GNL, il apparaît nécessaire de définir précisément les besoins énergétiques globaux du port et pour chaque consommation d'énergie, d'identifier les usages pour lesquels le GNL représente une solution envisageable afin de répondre aux besoins énergétiques associés, mesurer la part des besoins énergétiques portuaires satisfaits à ce jour par GNL, estimer l'incidence du GNL comme source de production d'énergie dans la zone portuaire. La complexité des estimations est rendue encore plus grande du fait de la nécessité d'identifier l'utilisateur des besoins énergétiques ou en charge de choisir un éventuel passage au GNL, en identifiant les investissements réalisés à cet effet et ceux prévus et par l'hétérogénéité des flux d'énergie.

Concernant les usages, au sein du macro-segment relatif aux besoins énergétiques portuaires, 6 domaines d'utilisation peuvent être identifiés: les infrastructures maritimes; espaces et espaces communs; chantiers de manœuvre ferroviaires; terminaux commerciaux; construction navale et activités industrielles; activités de croisière et touristique.

### 3.3.3. Demande terrestre de GNL

La demande de GNL terrestre est constituée des besoins des services de stockage de GNL dans la zone portuaire maritime pas nécessairement à l'intérieur du port. Les segments considérés pour l'évaluation de la demande terrestre, aux fins et aux fins du présent document sont:

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

- GNL pour les véhicules terrestres lourds et légers: intérêt pour l'utilisation du GNL dans un futur proche pour la fourniture de véhicules terrestres au niveau régional.
- GNL à usage civil et industriel «hors réseau»: la production combinée d'électricité et de chaleur peut réduire le coût global permettant une utilisation efficace du carburant; le contexte très énergivore du port rend cette solution particulièrement intéressante.
- Les dépôts satellites «inland»: élément fondamental de la chaîne d'approvisionnement en GNL, essentiel pour garantir la continuité du service et établir la localisation et le dimensionnement des installations d'avitaillement et de stockage dans la zone portuaire.

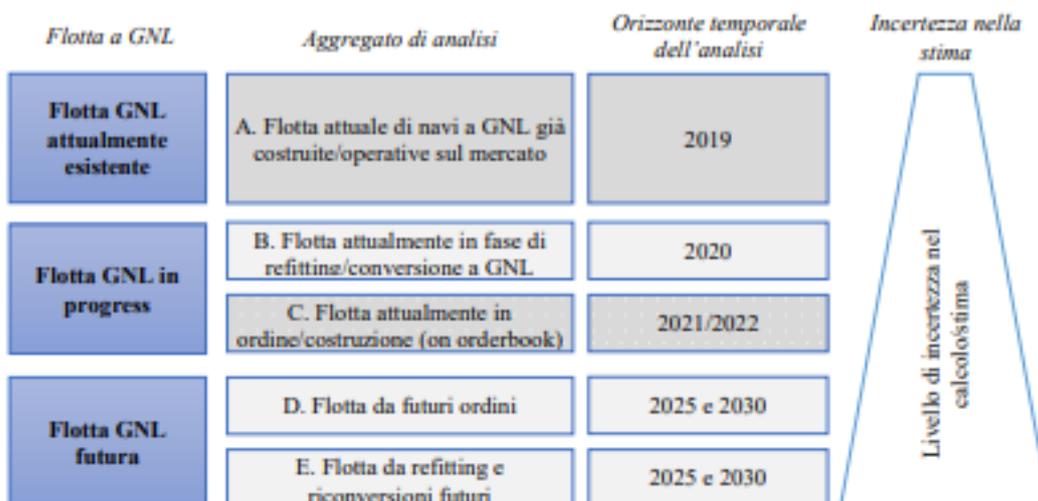
### 3.4. Profils méthodologiques liés à l'analyse de la demande de GNL

#### 3.4.1. Demande de GNL maritime: délimitation du champ d'enquête, sources de collecte des données et structure du questionnaire aux armateurs.

D'un point de vue méthodologique, cartographier et quantifier la demande actuelle et future de services d'avitaillement de GNL dans les ports de la zone de programme pour chaque agrégat identifié (flotte existante; flotte de réaménagement; flotte en carnet de commandes; flotte des commandes futures; Réaménagement de la flotte et conversions futures) les choix suivants doivent être faits:

- Délimitation du champ d'enquête: type de navires à inclure dans l'échantillon, couverture géographique / nationalité des navires;
- Définition du niveau d'agrégation / désagrégation de la demande maritime de services de soutage de GNL: définition des différents segments de marché considérés;
- Définition du niveau de précision de la quantification à partir de la demande actuelle et des prévisions relatives à la demande future: application d'une approche analytique par rapport aux agrégats identifiés, précision et ponctualité de l'analyse, suivie d'une approche synthétique;
- Sélection de l'horizon temporel par rapport à la prévision de la demande future;
- Sélection de méthodes / techniques statistiques / mathématiques spécifiques (qualitatives ou quantitatives) pour la mesure et l'estimation des agrégats individuels à l'étude.

Figure 10. Approches pour l'analyse de la flotte de GNL et l'estimation de la demande maritime relative



Source: notre élaboration.



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Grâce à la collecte, à la systématisation et à l'analyse des données fournies par la base de données IHS-SEAWEB, il a été possible de cartographier les agrégats "A. Flotte actuelle de navires de GNL" (à partir de 2019) et le total "C. Flotte actuellement en commande / en construction" (à partir de 2021/2022 pour la plupart des types de navires et 2025/2026 pour le secteur des croisières). Pour les agrégats "B. Flotte en cours de réaménagement / conversion au GNL", "D. Flotte des futures commandes" et "E. Réaménagement de la flotte et transformations futures", la tentative d'application de la méthode analytique a nécessité l'administration d'un questionnaire spécifique dédié aux armateurs qui a été transmis aux armateurs italiens et français. Compte tenu de la difficulté objective liée à l'application d'une méthode analytique pour les agrégats B, D et E, il a ensuite été décidé de recourir également à des approches synthétiques pour la prévision et l'estimation de la demande future.

La complexité des estimations à faire au sein du projet et la volatilité des segments de demande nécessitent également l'utilisation d'analyses de sensibilité et d'analyses de scénarios, visant à identifier les plages de variation possibles attendues en référence à la demande maritime de GNL dans différents horizons prévoir les tempêtes.

#### *3.4.1.1. Données pour l'analyse de la demande maritime*

En ce qui concerne la collecte d'informations et de données pertinentes pour l'étude de la flotte de GNL, le groupe de travail des FC a développé une base de données spécifique relative à la flotte actuellement existante et à la flotte de navires GNL "en commande", à partir de la plateforme en ligne IHS seamarket (base de données «Seaweb»), utilisée à la fois par les universitaires et les praticiens du secteur. Ce choix découle de la facilité d'utilisation de la plateforme et de l'étendue des fonctionnalités proposées.

Pour les besoins de l'étude, une extraction a été réalisée à partir de la plate-forme dans laquelle ont été inclus tous les navires «propulsés au GNL» détectés dans le monde, à partir de laquelle il a été possible d'identifier la liste complète des navires GNL existants ou en statut «en commande» internationalement. La DB développée pour les besoins de ce projet était initialement composée de 658 navires de GNL propulsés, appartenant à 176 groupes d'armateurs différents et gérés par 229 opérateurs différents. Sur la flotte GNL identifiée, 457 sont actuellement en service ou «lancées» sur le marché en 2019 («flotte actuellement sur le marché»), tandis que les 201 autres sont en carnet de commandes avec livraison après cette date. À partir de cette base de données, nous avons procédé à l'identification des navires détenus ou gérés par des propriétaires de *group owner/registered owner/operators* de nationalité européenne, en examinant ensuite le détail des navires italiens et français. La base de données comprend 34 variables de nature technique, opérationnelle / managériale et commerciale.

#### *3.4.1.2. Structure, contenu et modalités d'administration du questionnaire destiné aux armateurs*

Pour intégrer les informations visées au point précédent, le partenariat a également préparé et administré un questionnaire spécifique aux parties prenantes concernées. La structure du questionnaire (pour une analyse détaillée dont veuillez vous référer à la version complète du produit T2.1.2) en plus des informations relatives à la personne interrogée et à la compagnie maritime analysée, 10 questions sur l'utilisation du GNL comme forme de propulsion navale et est articulée en trois sections:

- Section A: Informations sur la personne interrogée et sur la compagnie maritime;
- Section B: Informations relatives aux méthaniens appartenant à la flotte;
- Section C: Profils opérationnels et économique-financiers liés à la flotte de GNL.

La version finale du questionnaire (rédigée en italien et en français) a été partagée dans le cadre de la "Table de travail sur les carburants alternatifs", promue par la Région de la Ligurie et la Chambre de commerce de Gênes, qui voit la présence de divers acteurs intéressés par les questions de GNL. En ce qui concerne le contexte national italien, le questionnaire a été transmis aux principales associations

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



professionnelles Confitarma et Assoarmatori qui ont transmis les questionnaires à leurs membres et ont ensuite renvoyé les questionnaires remplis au FC (4 par Confitarma, 6 par Assoarmatori). Concernant la France, les FC ont contacté 14 armateurs (identifiés par les partenaires P4 et P5) et n'ont reçu aucune réponse, malgré les rappels. Globalement, il est à noter que l'administration du questionnaire s'est heurtée à un certain nombre d'obstacles dus au manque d'information sur le sujet par une partie des armateurs pour diffuser des informations qu'ils jugent stratégiques en termes de compétitivité et de concurrence avec les concurrents.

#### *3.4.1.3. Demande portuaire GNL: définition de l'objet d'étude et structure du questionnaire aux Autorités de Système Portuaires (ADSP).*

Dans le cadre de l'activité T2.1. "Analyse des principales conditions de l'offre et de la demande au niveau actuel / prospectif dans la zone du programme" nous avons procédé à la collecte d'informations relatives à la demande portuaire de services d'avitaillement / stockage de GNL non seulement par des méthodologies "en ligne" (recherche documentaire) mais aussi à travers la conception et l'administration d'un questionnaire spécifique aux AdSP et autorités portuaires mentionnés dans la zone de programme (qui représente la principale source d'informations sur les besoins énergétiques dans la zone portuaire).

En particulier, au sein du questionnaire «Cartographie de la consommation d'énergie portuaire et de l'offre de services de soutage de GNL dans la zone maritime-portuaire: entretien avec les AdSP et les autorités portuaires», une section (section C) fonctionnelle pour examen des besoins énergétiques actuels et futurs des zones portuaires (et des zones adjacentes) qui pourraient être satisfaits au moyen d'installations alimentées au GNL et d'autres formes possibles d'utilisation du GNL lui-même (section soigneusement détaillée dans le produit intégral T2.1.2). Veuillez-vous référer à la version complète du produit T2.1.2 pour une discussion détaillée du sujet.

#### *3.4.1.4. Demande terrestre: définition des segments de demande et structure du questionnaire pour l'étude du parc de véhicules terrestres.*

Toujours dans le cadre de l'activité T2.1. Afin de dimensionner correctement les usines de soutage et de stockage de GNL dans la zone portuaire maritime, des activités ont également été prévues pour quantifier et estimer les volumes de GNL potentiellement pertinents par rapport au macro-segment «demande terrestre», à savoir:

- i. GNL pour la propulsion de véhicules terrestres (élément plus intéressant à considérer);
- ii. GNL à usage civil et industriel «hors réseau/off-grid» (un élément qui revêt une importance particulière exclusivement par rapport aux zones géographiques qui ne sont pas connectées au réseau national (par exemple la Sardaigne);
- iii. Les gisements satellites de type «inland» non connectés au réseau gazier national (en partie déjà cartographiés dans le produit T2.1.3 du projet TDI RETE-GNL).

Compte tenu de ce qui précède, le chef du projet, avec le soutien du représentant des parties prenantes et de manière concertée avec ses partenaires, a conçu et développé un autre questionnaire spécifique à administrer aux transporteurs routiers opérant dans ou à proximité des zones portuaires appartenant à la zone de programme concernée les différentes manières d'utiliser le GNL comme carburant alternatif pour cartographier l'état actuel et futur des flottes de poids lourds et les perspectives de leur conversion au GNL.

Le questionnaire a été partagé avec un grand nombre de transporteurs routiers pour le compte de tiers, grâce à des contacts tels que la Chambre de commerce de Gênes, la Confédération nationale de l'artisanat et des petites et moyennes entreprises, CNH INDUSTRIAL - IVECO, la Département de l'Industrie de la Région Sardaigne et transporteurs individuels. Dans l'ensemble, nous notons

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

l'engagement actif envers l'administration des nombreux questionnaires; le partenariat a envoyé un total de 111 questionnaires et en a reçu 18 complétés.

### **3.5. Cartographie de la demande maritime de GNL: résultats de l'analyse empirique**

Afin de cartographier la demande maritime de GNL au sein de la zone du Programme, en tenant compte de la rareté des données relatives à l'utilisation de ce type de navire dans la zone à l'étude (du fait que les investissements dans Le GNL par les armateurs opérant en Méditerranée ne s'est produit que récemment et avec des taux de croissance significatifs) et la nécessité de mener des activités de prévision à court (2019-2021) et à moyen (2025) et à long terme (2030-2035) il apparaît nécessaire dans un premier temps d'analyser les tendances relatives à la flotte de GNL existante et dans le carnet de commandes tant au niveau international qu'eupéen afin de disposer de statistiques suffisamment robustes pour comprendre les segments de demande les plus opportunités de croissance. Par la suite, aux fins du présent document, les agrégats suivants ont été examinés:

- Flotte GNL exploitée par des armateurs italiens
- Flotte GNL exploitée par des armateurs français
- Flotte GNL opérée dans la zone méditerranéenne.

En intégrant les analyses régionales détaillées à la définition des taux de croissance attendus relatifs aux différents secteurs du transport maritime les plus touchés par ce type d'innovation technologique, nous avons finalement procédé à:

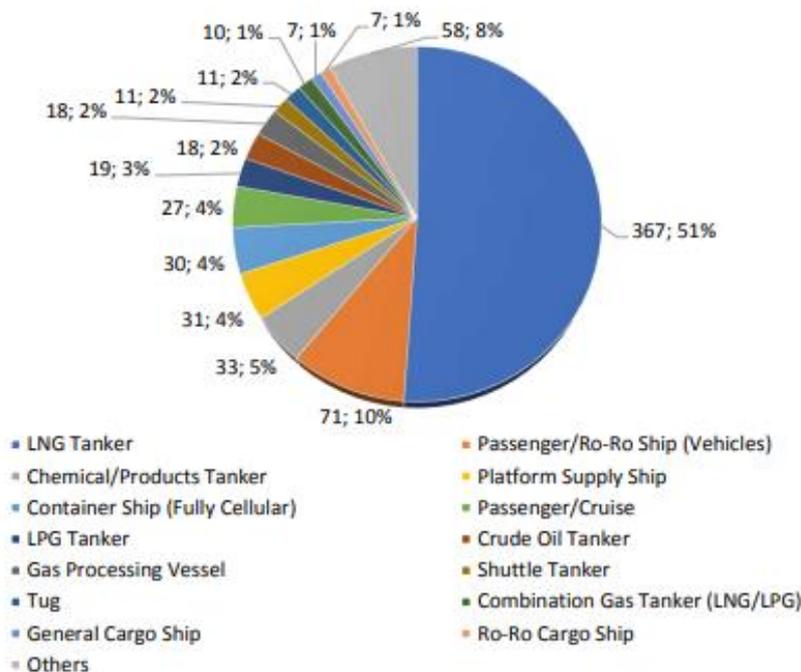
- calculer la demande de services de soutage de GNL pour la zone du programme par rapport à l'horizon 2019/2021
- estimer les niveaux de demande de services de soutage de GNL pour la zone du programme par rapport aux horizons 2025, 2030 et 2035.

#### **3.5.1. Analyse de l'état actuel et prospectif de la flotte internationale propulsée au GNL**

L'examen des données collectées au sein de la DB montre que la solution GNL a déjà été choisie à l'international à la date d'analyse (octobre 2019) par rapport à 37 types d'actifs de navires différents, pour un total de 718 navires, si ils considèrent conjointement les navires avec le statut "en service / commission" et les navires de nouvelle construction dans le futur, c'est-à-dire "quille posée", "lancée", "en commande / non commencée", "projetée" et "en construction". En référence au type de navire, la solution de propulsion GNL est plus répandue dans les navires «méthaniers», ou méthaniers pour 51,1% du total, ce qui n'est cependant pas particulièrement significatif pour l'étude de la demande de les services d'avitaillement mentionnés dans ce rapport car ces navires ne nécessitent pas de services de ravitaillement en utilisant une partie du même GNL qu'ils transportent comme carburant, exploitant le phénomène d'ébullition des gaz (BOG). En termes de pertinence, les types de navires Navires à passagers / rouliers (71; 9,9%), pétroliers de produits chimiques (33; 4,6%), navires ravitailleurs de plates-formes (31, 4,3%), porte-conteneurs (entièrement cellulaire) (30; 4,2%), croisière (27; 3,8%), pétrolier GPL (19; 2,6%), etc. La Figure 11 montre les données relatives aux 15 premières catégories navales.

Afin de réduire la complexité de l'information, les données ont été agrégées en 8 macro-catégories de navires qui montrent que les méthaniers continuent à maintenir le leadership (51,1%) suivis par les autres pétroliers (14,3%); Navire à passagers / roulier (10,4%); Porte-conteneurs / Marchandises diverses / Transporteur de véhicules / Fret Ro-RO (56; 7,8%); PSV / FPSO / OFFSHORE (56; 7,8%); Remorqueurs et services auxiliaires (28; 3,9%); Croisière (27; 3,8%); Vrac sec (6; 0,8%).

Figure 11. Flotte internationale de GNL: 15 premières catégories par type de navire



Source: notre élaboration effectuée sur les données IHS Market – Seaweb (30.06.2019)

En référence au statut de la flotte, les navires «en service / commission» représentent 60% du total, tandis que ceux de construction future représentent 40% au niveau international. En particulier, les différentes catégories de navires ont des tailles actuelles et des perspectives de croissance futures très différentes (Tableau 14). Par exemple, le secteur des croisières affiche une incidence actuelle de seulement 0,2% de la flotte en exploitation, alors que ses perspectives de croissance sont parmi les plus intéressantes, représentant 9% du total des nouvelles constructions de GNL dans le monde.

Tableau 14. Segments de marché pertinents pour le GNL: taille actuelle et perspectives d'avenir

Ship type code	peso rispetto a "in service/commissions"	peso rispetto a "new buildings"
LNG Tanker	54,1%	46,7%
Other Tanker	12,4%	17,3%
Passenger/Ro-Ro Ship (Vehicles)	11,2%	9,3%
Container Ship/General cargo/Vehicles carrier/Ro-Ro cargo	6,1%	10,4%
PSV/FPSO/OFFSHORE	11,0%	3,1%
Tug and auxiliary services	4,4%	3,1%
Cruise	0,2%	9,0%
Dry bulk	0,7%	1,0%

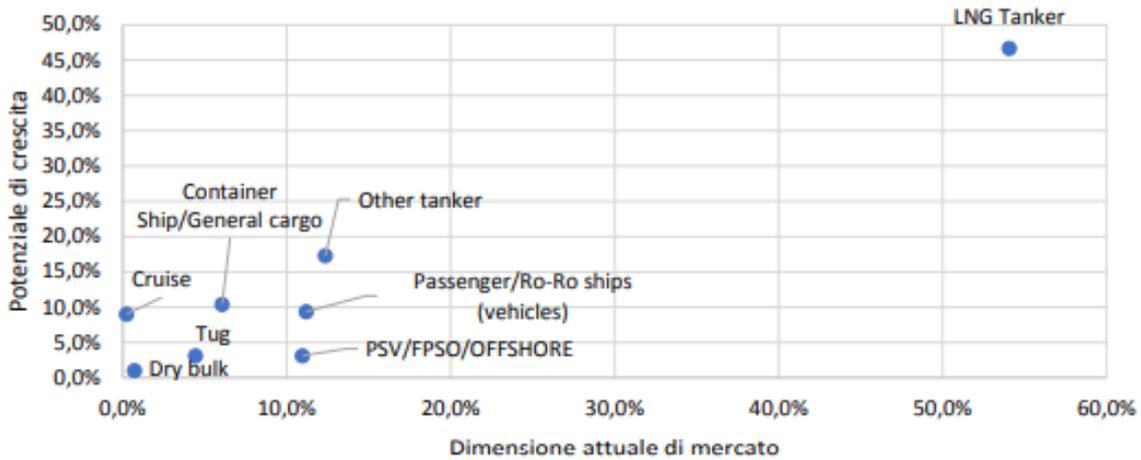
Source: notre élaboration effectuée sur les données IHS Market – Seaweb (30.06.2019)

La Figure 12 permet de mettre en évidence le positionnement des différents secteurs du transport maritime en tant que segments de demande par rapport au marché dans son ensemble. Hors macro-catégorie des méthanières, la pertinence actuelle des segments Autres pétroliers (12,4%), passagers / Ro-ship (11,2%), PSV / FPSO / OFFSHORE (11,0%) est mise en évidence, tandis qu'en perspective le



segment « autres pétroliers » (17,3%), porte-conteneurs / marchandises diverses / transporteurs de véhicules / fret Ro-RO (10,4%), navire à passagers / roulier (11,2%) et croisière (9,0%).

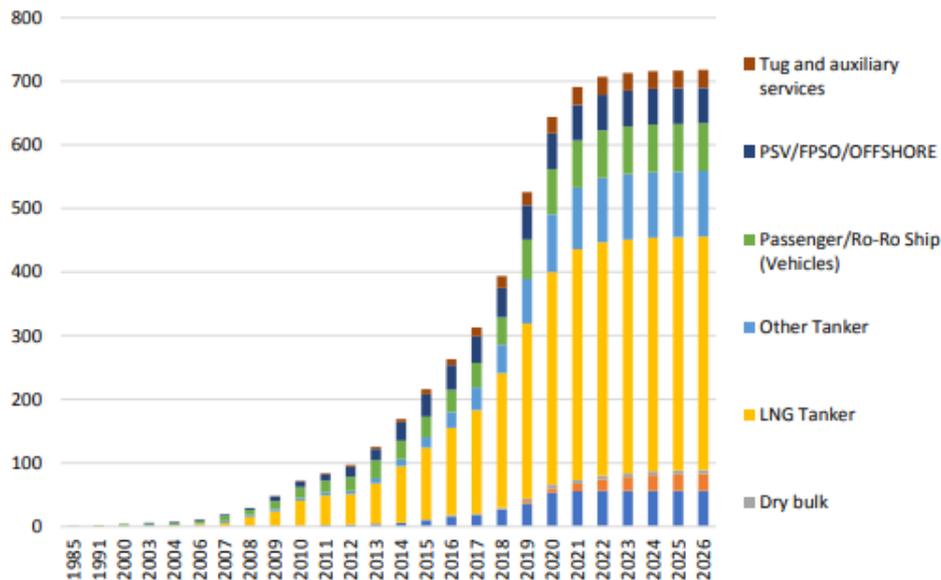
Figure 12. Code de type des navires GNL: taille actuelle et perspectives d'avenir



Source: notre élaboration effectuée sur les données IHS Market – Seaweb (30.06.2019)

La Figure 13 montre au lieu de cela la tendance temporelle de la mise en service des différents types de navires de GNL en termes de flotte existante chaque année de 1985 à 2026.

Figure 13. Tendance des différents segments de marché au niveau international: nombre de méthaniers (années 1985-2026)



Source: notre élaboration effectuée sur les données IHS Market – Seaweb (30.06.2019)

Dans la version complète du produit T2.1.2, il existe également des graphiques qui mettent en évidence l'évolution du tonnage Dead Weight Tonnage (DWT), Gross Tonnage (GT) et de la capacité totale de stockage de GNL des navires précités, permettant ainsi d'évaluer la tendance passée et prospective de la demande éventuelle de services de soutage de GNL au niveau maritime. Ces valeurs ont ensuite été

utilisées pour calculer le TCAC (taux de croissance annuel composé), c'est-à-dire les perspectives de croissance des différents segments de marché des méthaniers compte tenu:

- i) Évolution du nombre de navires
- ii) Évolution du DWT
- iii) Évolution de GT
- iv) Évolution de la capacité de stockage de GNL pour la propulsion (proxy de la tendance future de la demande de services d'avitaillement de GNL).

Le but de l'estimation du TCAC est de disposer de paramètres comparatifs pour la prévision des scénarios de croissance futurs des différents segments de demande de soutage de GNL. Le rapport analyse donc la tendance du marché associée pour chaque segment de demande au niveau international; dans le Tableau 15 les principaux résultats issus de ces analyses approfondies sont présentés ci-dessous.

*Tableau 15. Tendance du marché des segments de demande à l'international*

Segments de demande	Principaux résultats des tendances du marché
Container/general cargo/vehicles carries/ro-ro cargo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depuis 2008, le segment a considérablement augmenté, avec un TCAC sur la période 2008-2022 de plus de 30%.</li> <li>- Au sein du segment de marché en question, on a tendance à utiliser cette solution technologique en référence à des tailles de navires de plus en plus importantes.</li> <li>-La tendance récente des commandes montre également qu'à l'avenir, la croissance de ce segment au niveau international est vouée à diminuer également en raison des conditions de marché spécifiques qui caractérisent l'activité au niveau international.</li> <li>-Les réservoirs utilisés pour ce type de navire ont des dimensions moyennes assez importantes et sont pertinents au regard des choix de dimensionnement des installations de stockage de GNL pour supporter les systèmes d'avitaillement de GNL qui sont principalement destinés à ce segment de marché.</li> </ul>
Cruise	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Le marché des croisières au GNL est très jeune, avec la première unité en service à partir de fin 2018.</li> <li>- À partir de 2020, le segment affiche une croissance significative, avec un TCAC sur la période 2020-2022 de 78%.</li> <li>- Au sein du segment de marché en question, il existe une tendance à utiliser cette solution technologique en référence aux navires de taille moyenne / grande.</li> <li>-La tendance récente des commandes montre également qu'à l'avenir, la croissance de ce segment au niveau international est appelée à augmenter de manière exponentielle (TCAC de 2018 à 2022 supérieur à 70%), surtout en raison des conditions de marché spécifiques qui caractérisent les affaires internationales.</li> <li>-Les réservoirs utilisés pour ce type de navire ont des dimensions moyennes assez importantes et sont pertinents au regard des choix de dimensionnement des installations de stockage de GNL pour supporter les systèmes d'avitaillement de GNL qui sont principalement destinés à ce segment de marché.</li> </ul>
Other tanker	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depuis 2008, le segment s'est considérablement développé, trouvant un TCAC sur la période 2008-2022 supérieur à 25-30% selon la variable considérée (flotte, DWT, GT, capacité des réservoirs).</li> <li>- Au sein du segment de marché en question, on a tendance à utiliser cette solution technologique en référence à des tailles de navires de plus en plus élevées.</li> <li>-La tendance récente des commandes montre également qu'à l'avenir, la croissance de ce segment au niveau international est vouée à diminuer également en raison des conditions de marché spécifiques qui caractérisent l'activité au niveau international</li> <li>-Les réservoirs utilisés en relation avec ce type de navire ont une taille moyenne importante.</li> </ul>
Passenger/ro-ro ships (vehicles)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depuis 2008, le segment s'est considérablement développé, trouvant un TCAC sur la période 2008-2022 supérieur à 15-20% selon la variable considérée.</li> <li>- Au sein du segment de marché en question, on a tendance à utiliser cette solution technologique en référence à des tailles de navires toujours plus grandes.</li> <li>-La tendance récente des commandes montre également qu'à l'avenir, la croissance de ce segment au niveau international est appelée à rester plutôt forte, en raison également des conditions de marché spécifiques qui caractérisent l'activité au niveau international.</li> <li>-Les réservoirs utilisés pour ce type de navire sont de petite taille, compte tenu de leur utilisation sur des routes à courte distance.</li> </ul>



PSV/FPSO/Offshore	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depuis 2008, le segment a connu une croissance significative, trouvant un TCAC sur la période 2008-2022 de plus de 20-30% en fonction de la variable considérée (flotte, DWT, GT, capacité de carburant).</li> <li>- Au sein du segment de marché en question, on a tendance à utiliser cette solution technologique en référence à des tailles de navires de plus en plus importantes.</li> <li>-La tendance récente des commandes montre également qu'à l'avenir, la croissance de ce segment au niveau international est vouée à diminuer également en raison des conditions de marché spécifiques qui caractérisent l'activité au niveau international</li> <li>-Les réservoirs utilisés pour ce type de navire ont de petites dimensions et sont pertinents au regard des choix de dimensionnement des installations de stockage de GNL pour supporter les systèmes d'avitaillement de GNL qui sont principalement destinés à ce segment de marché.</li> </ul>
Tug/auxiliary services	<ul style="list-style-type: none"> <li>À partir de 2009, le segment a considérablement augmenté, trouvant un TCAC au cours de la période 2009-2022 de plus de 25 à 30% selon la variable considérée.</li> <li>- Au sein du segment de marché en question, on a tendance à utiliser cette solution technologique en référence à des tailles de navires de plus en plus importantes.</li> <li>-La tendance récente des commandes montre également qu'à l'avenir, la croissance de ce segment au niveau international est vouée à diminuer également en raison des conditions de marché spécifiques qui caractérisent l'activité au niveau international.</li> <li>-Les réservoirs utilisés pour ce type de navire sont de petite taille.</li> </ul>
Dry bulk	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depuis 2015, le segment a considérablement augmenté, avec un TCAC sur la période 2015-2022 de plus de 25% compte tenu du nombre de navires et de plus de 60% compte tenu du tonnage des navires (DWT et GT)</li> <li>- Au sein du segment de marché en question, on a tendance à utiliser cette solution technologique en référence à des tailles de navires de plus en plus importantes.</li> <li>-La tendance récente des commandes montre également qu'à l'avenir, la croissance de ce segment au niveau international est vouée à diminuer également en raison des conditions de marché spécifiques qui caractérisent l'activité au niveau international.</li> <li>-Les réservoirs utilisés pour ce type de navire sont de petites dimensions moyennes et sont pertinents au regard des choix de dimensionnement des installations de stockage de GNL pour supporter les systèmes d'avitaillement de GNL qui visent principalement ce segment de marché.</li> </ul>

Source: notre élaboration.

### 3.5.2. Analyse de la flotte au GNL opérant en Europe

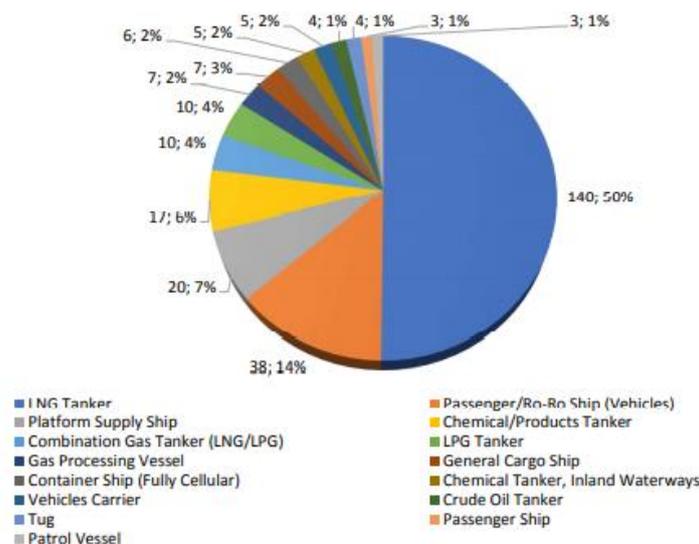
Afin d'analyser l'état actuel et les perspectives d'avenir de la flotte de GNL opérant en Europe, l'utilisation commerciale de chaque navire de GNL au cours de la dernière année civile a été identifiée au sein de la DB. Tous les navires utilisés l'année dernière sur au moins une route en Europe ont donc été inclus dans l'analyse qui suit. Par souci de brièveté, nous ferons référence ci-après à cet agrégat de méthaniers faisant référence à la flotte européenne, quelle que soit la nationalité de l'armateur de l'actif et / ou de l'armateur ou du gestionnaire de navire qui l'utilise.

L'examen des données collectées au sein de la DB pour l'étude de la flotte européenne de GNL met en évidence comment la solution relative à la propulsion GNL a déjà été choisie au niveau européen dès juin 2019 pour 26 types d'actifs navals différents, pour un total de 297 navires, si l'on considère conjointement les navires avec le statut "en service / commission" et les navires de nouvelle construction à l'avenir, ce qui signifie "quille posée", "lancé", "sur commande / pas commencé", "Projeté "Et" en construction ".

En raison du «type de navire», les méthaniers (47,1% des 297 navires) sont suivis par les catégories navires à passagers / rouliers (12,8%), navires ravitailleurs de plates-formes (6,7%), pétroliers de produits chimiques ( 5,7%), pétrolier mixte (3,4%), pétrolier GPL (2,4%), cargo général (2,4%). De ce point de vue, il est certainement intéressant de constater une première différence significative par rapport au scénario international: la flotte européenne de GNL est significativement concentrée sur le segment relatif au transport de personnes par mer en raison des spécificités du continent européen et du

rôle que ce type des affaires présente par rapport à des réalités telles que les pays de la Baltique et de la mer du Nord, l'Angleterre, la Grèce, l'Italie mais aussi la France. La Figure 14 rend compte des données relatives à la répartition de la flotte des catégories navales utilisées dans l'espace européen

Figure 14. Flotte européenne de GNL: 15 premières catégories par type de navire



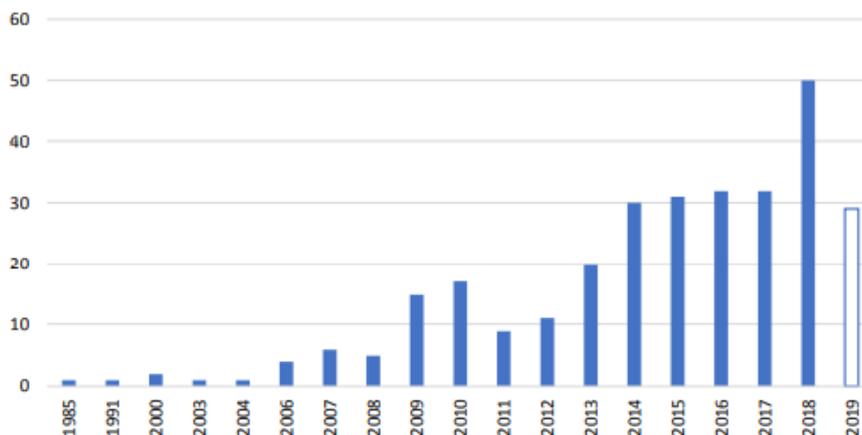
Source: notre élaboration effectuée sur les données IHS Market – Seaweb (30.06.2019)

La même analyse en référence aux 8 macro-catégories indiquées dans la section précédente (5.1) confirme la primauté des navires méthaniers (140; 47,1%) suivis des autres pétroliers (47; 15,8%), des navires à passagers / rouliers ( 41; 13,8%); PSV / FPSO / OFFSHORE (31; 10,4%); Porte-conteneurs / Marchandises diverses / Transporteur de véhicules / Fret Ro-RO (22; 7,4%); Remorqueurs et services auxiliaires (12; 4%); Croisière (2; 0,7%); Vrac sec (2; 0,7%).

Il est essentiel de souligner comment le segment «croisière» est particulièrement réduit au sein de cet agrégat du fait qu'évidemment la flotte de croisière GNL est largement en construction et pour ces navires, il ne semble donc évidemment pas possible de le savoir aujourd'hui la situation géographique de l'actif du navire. Pour cette raison, compte tenu du fait qu'une part importante des navires de croisière GNL sera employée sur les marchés de la mer du Nord et de la Méditerranée, par rapport à cette catégorie navale, une estimation a été faite sur la demande suite à une logique différente.

La Figure 15 rend compte des valeurs relatives à la répartition temporelle des navires entrant sur le marché (livraison) par rapport aux catégories navales concernées afin d'analyser la demande de soutage de GNL (hors catégorie des méthaniers).

Figure 15. Répartition temporelle de l'entrée des méthaniers (livraison) au niveau européen (années 1985-2019)



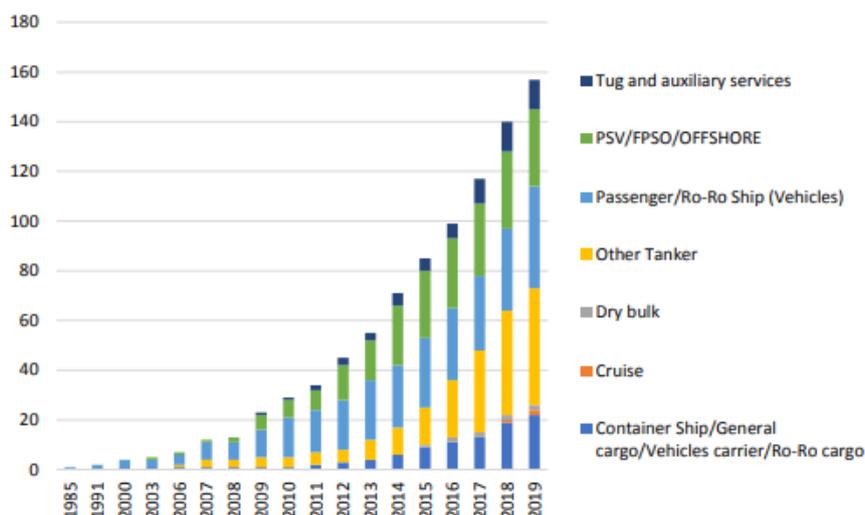
Source: notre élaboration effectuée sur les données IHS Market – Seaweb (30.06.2019)

La Figure 16 permet de mettre en évidence la tendance des différents types de navires méthaniers en termes de flotte existante chaque année de 1985 à 2019.

Le rapport complet contient également des graphiques qui mettent en évidence la tendance du tonnage en poids mort (DWT), du tonnage brut (GT) et de la capacité totale de stockage de GNL de la flotte de GNL, conformément à l'analyse internationale.

Au niveau européen également, les TCAC relatifs ont été calculés pour chaque segment de marché afin d'identifier un indicateur de la tendance future de la demande de services d'avitaillement de GNL dans le secteur maritime. Le produit T2.1.2. analyse ensuite la tendance de marché associée pour chaque segment de demande au niveau européen; dans le Tableau 16 les principaux résultats de ces analyses sont présentés.

Figure 16. Tendance des différents segments de marché au niveau européen: nombre de méthaniers (années 1985-2019)



Source: notre élaboration effectuée sur les données IHS Market – Seaweb (30.06.2019)

Tableau 16. Tendances du marché des segments de demande au niveau européen

Segments de demande	Principaux résultats des tendances du marché
Container/general cargo/vehicles carries/ro-ro cargo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depuis 2008, le segment a considérablement augmenté, trouvant un TCAC au cours de la période 2008-2019 d'environ 30%.</li> <li>- Au sein du segment de marché en question, on a tendance à utiliser cette solution technologique en référence à des tailles de navires de plus en plus importantes.</li> <li>-Les réservoirs utilisés en relation avec ce type de navire ont une taille moyenne assez limitée et ceci est pertinent en référence aux choix de dimensionnement des installations de stockage de GNL pour supporter les systèmes d'avitaillement de GNL qui sont principalement destinés à ce segment de marché.</li> </ul>
Cruise	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Le marché des croisières au GNL est très jeune, avec la première unité en service à partir de fin 2018.</li> <li>-En 2019, le segment affiche une croissance significative grâce à l'entrée du deuxième navire Carnival sur le marché, affichant un TCAC sur la période 2018-2019 de 41%.</li> <li>- Au sein du segment de marché en question, il existe une tendance à utiliser cette solution technologique en référence aux navires de taille moyenne / grande.</li> </ul> <p>Étant donné que l'utilisation commerciale de la plupart des navires de croisière entrant sur le marché international n'est pas connue, on peut supposer qu'une petite partie, au moins 10% des 26 navires de croisière en ordre international de 2020 à 2026 prendra le large dans la zone UE (l'Europe en 2019 représente 14,2% de la capacité passagers dans l'industrie mondiale des croisières et 12% de la capacité en termes de flotte, source: Cruise industry news), la croissance de ce segment le niveau international est destiné à augmenter de façon exponentielle.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Les réservoirs utilisés pour ce type de navire ont des dimensions moyennes assez importantes et sont pertinents au regard des choix de dimensionnement des installations de stockage de GNL pour supporter les systèmes d'avitaillement de GNL qui sont principalement destinés à ce segment de marché.</li> </ul>
Other tanker	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depuis 2008, le segment a connu une croissance significative, trouvant un TCAC sur la période 2008-2019 de plus de 25-30% selon la variable considérée (flet, tpl, GT, capacité du réservoir).</li> <li>- Au sein du segment de marché en question, il existe une tendance à utiliser cette solution technologique en référence à des tailles de navires de taille significative.</li> <li>-Les réservoirs utilisés pour ce type de navire ont des dimensions moyennes assez importantes et sont pertinents au regard des choix de dimensionnement des installations de stockage de GNL pour supporter les systèmes d'avitaillement de GNL qui sont principalement destinés à ce segment de marché.</li> </ul>
Passenger/ro-ro ships (vehicles)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- À partir de 2008, le segment a considérablement augmenté, trouvant un TCAC sur la période 2008-2019 de plus de 15 à 35% selon la variable considérée (flotte, DWT, GT, capacité du réservoir).</li> <li>- Au sein du segment de marché en question, il existe une tendance à utiliser cette solution technologique en référence à des tailles de navires de taille significative.</li> <li>-Les réservoirs utilisés pour ce type de navire ont une taille moyenne plutôt limitée et sont pertinents au regard des choix de dimensionnement des installations de stockage de GNL pour supporter les systèmes d'avitaillement de GNL qui visent principalement ce segment de marché.</li> </ul>
PSV/FPSO/Offshore	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depuis 2008, le segment a connu une croissance significative, trouvant un TCAC sur la période 2008-2019 de plus de 20 à 40% selon la variable considérée (flotte, DWT, GT, capacité du réservoir).</li> <li>- Au sein du segment de marché en question, il existe une tendance à utiliser cette solution technologique en référence à des tailles navales importantes.</li> <li>- Les réservoirs utilisés pour ce type de navire sont de taille moyenne et sont pertinents au regard des choix de dimensionnement des installations de stockage de GNL pour supporter les systèmes d'avitaillement de GNL qui visent principalement ce segment de marché.</li> </ul>
Tug/auxiliary services	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Depuis 2009, le segment a connu une croissance significative, trouvant un TCAC sur la période 2009-2019 supérieur à 25% selon la variable considérée.</li> <li>- Au sein du segment de marché en question, il existe une tendance à utiliser cette solution technologique en référence aux navires de petite taille.</li> <li>-Les réservoirs utilisés pour ce type de navire ont de petites dimensions et sont pertinents au regard des choix de dimensionnement des installations de stockage de GNL pour supporter les systèmes d'avitaillement de GNL qui sont principalement destinés à ce segment de marché.</li> </ul>
Dry bulk	<ul style="list-style-type: none"> <li>- À partir de 2015, le segment a considérablement augmenté, trouvant un TCAC au cours de la période 2015-2019 de 15%.</li> <li>- Au sein du segment de marché en question, il existe une tendance à utiliser cette solution technologique en référence aux navires de petite taille.</li> </ul>



- Les réservoirs utilisés pour ce type de navire sont de petite taille et sont pertinents au regard des choix de dimensionnement des installations de stockage de GNL pour supporter les systèmes de soutage de GNL qui visent principalement ce segment de marché.

Source: notre élaboration.

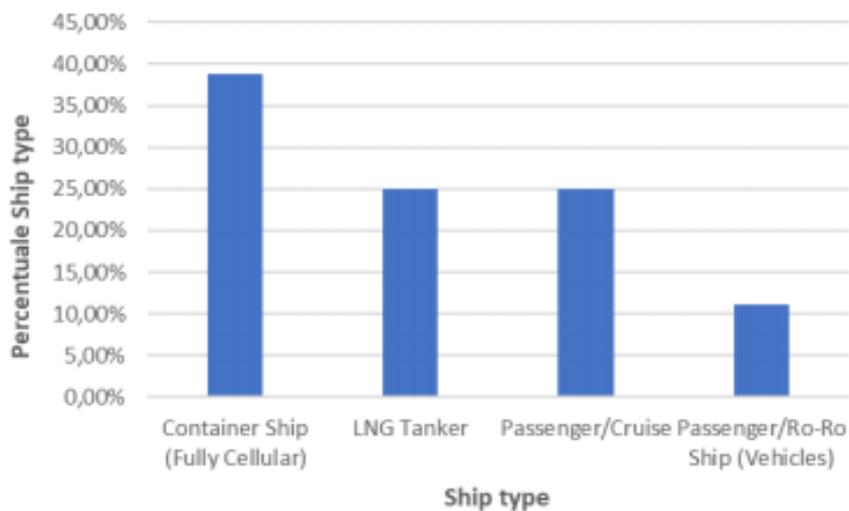
### 3.5.3. Analyse de la flotte au GNL exploitée par des armateurs italiens et français

Dans le but d'analyser la flotte actuelle et la flotte «en commande» de navires au GNL appartenant à des armateurs italiens et français, les FC ont créé et développé une autre base de données spécifique à partir des données collectées. Cette base de données vise à identifier les méthaniers des armateurs italiens et français avec des services proposés dans la Zone Cible, à savoir la France et l'Italie et, en particulier, les ports de Gênes, Livourne, Cagliari, Corse et la Région PACA.

La base de données développée aux fins de l'analyse suivante est composée de 36 méthaniers propulsés, dont 10 font partie de la flotte italienne et 26 de la flotte française. En référence au statut, 15 navires sont actuellement sur le marché, en service ou «lancés» en 2019 (11 en service et 4 lancés), 1 quille posée, 4 en construction, 1 en projet, tandis que les 14 autres sont «en carnet de commande» avec livraison prévue après la date à laquelle l'analyse susmentionnée a été effectuée.

En ce qui concerne le «type de navire», les navires inclus dans l'échantillon considéré sont principalement des porte-conteneurs (14 navires), des méthaniers (9 navires), des navires à passagers / de croisière (9 navires) et des navires à passagers / rouliers (4 navires) car ces segments ont des caractéristiques de régularité et de planification adaptées à l'utilisation du GNL comme carburant marin alternatif.

Figure 17. Flotte d'armateurs italiens et français: % type de navire



Source: notre élaboration effectuée sur les données IHS Market – Seaweb (30.06.2019)

La Figure 18 permet de mettre en évidence les performances des différents types de navires au GNL pour chaque année considérée: l'importance du segment «croisière» est mise en avant, segment qui ces dernières années introduit en fait le GNL comme une stratégie verte à adopter pour en attirer une plus grande part des clients (les soi-disant «touristes verts») et pour des raisons d'économie.

Pour ce niveau d'analyse également, les tendances du tonnage en poids mort, du tonnage brut et de la capacité totale de stockage de la flotte de référence ont été faites.

Afin de vérifier si les navires inclus dans l'échantillon, d'armateurs français et italiens, offrent des services de transport maritime impliquant également les ports de la zone d'objectif du projet, des variables supplémentaires de nature technique, opérationnelle / managériale et commerciale ont été prises en compte, telles que: *hauls; ports; frequency; marine miles; speed; volumes required*. Ces informations ont été collectées en consultant les sites internet des sociétés analysées, la plateforme Seaweb, Vessel Finder et Sea-distances. Le processus de collecte s'est avéré difficile pour la flotte non encore en service (environ 30% seulement de l'échantillon considéré est «en service»); tandis que pour le segment "croisière", l'activité publicitaire et promotionnelle de leurs services a facilité l'analyse.

Figure 18. Flottes Ita-fra: évolution des segments de marché: nombre de méthaniers



Source: notre élaboration effectuée sur les données IHS Market – Seaweb (30.06.2019)

Dans la version complète du produit T2.1.2. la base de données créée par le partenariat est affichée et les détails sont fournis sur les cas commerciaux pertinents (AIDAnova et Costa Smeralda du groupe Costa Crociere Spa pour le segment des croisières, Elio du groupe Caronte & Tourist Lines Srl pour le segment roulier du ferry et certains navires-citernes déjà en service). En revanche, il n'est pas possible d'identifier les futurs itinéraires des navires non encore en service, notamment en ce qui concerne le secteur des conteneurs, car les armateurs qui ont investi dans des méthaniers ne fournissent actuellement pas publiquement de données relatives aux choix de déploiement des navires.

#### 3.5.4. Analyse de la flotte alimentée au GNL dans la zone méditerranéenne et dans la zone du programme.

Afin de procéder à l'analyse de la flotte existante et de la flotte «en commande» en ce qui concerne les navires au GNL naviguant dans les ports méditerranéens, les FC sont intervenues dans la création et le développement d'une base de données supplémentaire (DB Mediterraneo\_Mappatura) commençant à partir des données collectées et extrapolées à partir de la plateforme en ligne IHS seamarket. L'objectif de l'analyse est notamment d'identifier les méthaniers circulant en Méditerranée qui présentent un intérêt en termes de demande actuelle et prospective de services de soutage de GNL potentiellement pertinents par rapport aux ports de la « Zone du Programme » prévus sous la forme (ports de Gênes, Savone, La Spezia, Livourne, Cagliari, Bastia et Toulon).

La DB, créée après une vérification minutieuse que le navire a déjà été utilisé ou devrait être utilisé dans la zone géographique en question, comprend 129 navires de GNL propulsés, 126 en service, 3 non encore livrés mais avec une utilisation future prévue dans la zone en question.

TDI RETE-GNL



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



En ce qui concerne le type de navire, la flotte est principalement constituée de navires méthaniers (99), suivis des macro-segments Autres pétroliers (15), Navire à passagers / roulier (7), PSV / FPSO / OFFSHORE (4), Croisière (2), Remorqueurs et services auxiliaires (1), porte-conteneurs / marchandises diverses / transporteur de véhicules / fret roulier (1). Les données relatives à l'année de mise en service des navires en question montrent à quel point le développement de l'utilisation de ce carburant alternatif est assez récent et comment le transport de passagers et de ferry et le transport de croisière jouent un rôle particulier au regard des spécificités du territoire objectif et les ports étudiés notamment en raison de la réglementation sur la réduction des émissions d'azote et de soufre ainsi que d'une plus grande attractivité auprès des clients porteurs de stratégies vertes (touristes verts).

Dans la version complète du produit, les variables de nature technique, opérationnelle et de gestion ont également été examinées, préalablement identifiées comme pertinentes aux fins d'estimer la demande de soutage de GNL par rapport aux ports de la zone du programme.

### **3.6. Cartographie de la demande portuaire de GNL: résultats de l'analyse empirique**

Comme indiqué précédemment, l'estimation de la demande portuaire en GNL nécessite d'abord la quantification de la consommation totale d'énergie au niveau du port, ensuite l'évaluation de la quantité de GNL nécessaire pour produire l'énergie nécessaire à la pleine satisfaction des utilisateurs et, enfin, l'estimation perspective de la part d'énergie qui sera effectivement produite dans chaque nœud portuaire grâce à l'utilisation du GNL.

Compte tenu de la complexité considérable de la disponibilité des données, il a été jugé raisonnable de procéder à l'estimation en question en définissant des indicateurs clés de performance liés à la consommation d'énergie, calculés à partir des données désagrégées fournies par les opérateurs portuaires qui ont répondu uniquement aux questionnaires.

Plus précisément, cette section présente les procédures qui conduisent à l'estimation de la consommation en termes de kWh des zones portuaires à travers l'introduction de paramètres clés définis avec précision KPI, adaptés aux différentes catégories d'appartenance des activités commerciales et des usages prévus présents dans le Port. À cette fin, les opérateurs de terminaux / concessionnaires présents au sein de chaque nœud portuaire ont été regroupés selon la classification suivante par zone homogène:

1. Marchandises générales (1,1 polyvalent; 1,2 conteneur);
2. Vrac liquide (pétrole, produits dérivés, etc.);
3. Vrac solide (charbon, minéraux ferreux et non ferreux, céréales, etc.);
4. Construction navale (construction et réparation navales);
5. Terminal passagers;
6. Marine (navigation de plaisance);
7. Autres (entrepôts, logistique, etc.).

#### **3.6.1. Terminal general cargo**

La macro-catégorie «marchandises diverses», divisée en deux sous-classes, permet d'identifier une classe représentative d'activités adaptées aux opérations de chargement-déchargement de conteneurs / cargaisons, de stockage, d'entreposage et de distribution. Pour chaque opérateur de terminal inclus dans l'échantillon d'étude (pour plus d'informations, se reporter à la version complète du produit T2.1.2), des données ont été collectées sur la valeur de la surface en concession, le nombre de prises électriques (fiches de référence), le nombre de conteneurs manutentionnés annuellement (débit), les différentes marchandises manutentionnées et les mètres linéaires de matériel roulant manutentionnés.



Afin de rendre plus comparables les volumes traités par les différents terminaux, des indicateurs de performance commerciale (débit) ont été calculés, respectivement exprimés en nombre de tonnes et équivalent EVP, obtenus comme suit:

$$Teu_{eqv} = Teu_{cont} + \frac{Merci\ varie\ (tonn.)}{Pm_{container}} + \frac{Rotabili\ (metri\ lineari)}{L_{Teu}} \quad [1]$$

$$Ton_{evq} = Teu_{eqv} * Pm_{container} \quad [2]$$

[*Teu<sub>cont</sub>*: numero di teu movimentati (throughput), tabella ###.]

*Pm<sub>container</sub>*: 12 tonn, peso medio stimato per Teu

*L<sub>Teu</sub>*: 6 m, lunghezza Teu.

Enfin, l'énergie totale consommée annuellement par l'activité de l'opérateur du terminal a été calculée.

La catégorie polyvalente comprend toutes les activités de chargement / déchargement de marchandises diverses, de matériel roulant et, pour une part minoritaire, également de conteneurs. Les 4 opérateurs de terminaux identifiés présentent des caractéristiques homogènes entre eux; l'opérateur de terminal 3 se distingue nettement des autres pour un plus grand nombre de matériel roulant manutentionné, affectant la valeur des tonnes et équivalents EVP. La valeur de la consommation totale d'énergie de l'opérateur de terminal 3 est inférieure à celle de l'opérateur de terminal 1 (avec un nombre équivalent d'EVP similaire), en raison de la nature différente des marchandises traitées en tant qu'opérateur de terminal 3 a un certain nombre de matériel roulant manutentionné, qui n'impliquent pas de consommation d'énergie attribuable à l'exploitant du terminal, nettement prépondérante sur les autres biens.

Les opérateurs de terminaux qui exercent des activités de gestion et de manutention de conteneurs se caractérisent par des volumes modestes de diverses marchandises manutentionnées, présentant un plus grand nombre de conteneurs par rapport à la catégorie polyvalente. La consommation peut différer d'un opérateur de terminal à un autre en raison du degré d'automatisation du terminal, qui implique une utilisation différente de l'énergie.

### 3.6.2. *Vrac liquide*

Les exploitants de terminaux associés à cette catégorie s'occupent du stockage et de la distribution dans les zones portuaires des fiouls, du pétrole, des huiles végétales, des graisses animales, du biodiesel, de la pétrochimie, des produits chimiques organiques et inorganiques. De l'analyse des opérateurs de terminaux inclus dans la catégorie «*vrac liquide*», il est mis en évidence que la consommation d'énergie de l'opérateur de terminal 10 présente un ordre de grandeur supérieur aux autres du fait de la présence d'échangeurs de chaleur connectés au réseau de distribution de vapeur avec la fonction de maintien du coût la température des volumes de stockage.

### 3.6.3. *Vrac solide*

La catégorie du *vrac solide* comprend les exploitants de terminaux de Gênes et en particulier de Savone, qui a un bon nombre d'activités associées à ce type de classification. Dans ces zones, il y a des installations de stockage avec la présence possible de déshumidificateurs refondus.

### 3.6.4. *Construction navale*

Dans la catégorie *construction navale*, seules les données relatives aux chantiers navals du port de Gênes et de Savone sont intéressantes aux fins d'analyse; les autres concessionnaires, en revanche, ont une



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



utilisation modeste voire nulle de cette source d'énergie, favorisant l'utilisation de combustibles traditionnels. Les activités sont divisées en réparation et construction de navires et de bateaux de différentes tailles et types.

### **3.6.5. Terminal passagers**

Dans la catégorie des terminaux passagers, seules les données relatives aux terminaux passagers du port de Gênes sont intéressantes pour l'analyse. En effet, il est possible d'estimer une énergie totale annuelle consommée de plus de 13,5 millions de kilowatts / heure, en considérant une surface de référence de 294800 mètres carrés.

### **3.6.6. Ports de plaisance**

Dans la catégorie marine, les données relatives aux marinas du port de Gênes sont intéressantes pour l'analyse. En effet, il est possible d'estimer une énergie totale consommée par an à plus de 11 millions de kilowatts / heure, en considérant une surface de référence d'environ 277000 mètres carrés.

### **3.6.7. Autres activités**

Enfin, dans la catégorie «autres activités», seules les données relatives aux zones restantes en concession dans le port de Gênes présentent un intérêt pour l'analyse. En effet, il est possible d'estimer une énergie totale annuelle consommée égale à plus de 2,7 millions de kilowatts / heure, en considérant une surface de référence d'environ 75000 mètres carrés.

### **3.6.8. Calcul des KPI liés à la consommation d'énergie du port**

Grâce aux données décrites dans les paragraphes précédents, les indicateurs calibrés en fonction du type d'activités commerciales / opérationnelles individuelles ont été définis, visant à estimer la consommation d'énergie par rapport aux différentes activités du portail dans les aéroports de la zone de programme, par rapport aux agrégats pour lesquels les valeurs réelles n'étaient pas disponibles.

Les activités de recherche menées ont permis de collecter des informations précises sur la consommation énergétique, électrique et thermique des différents concessionnaires situés dans les ports de Gênes, Savone, La Spezia et Livourne. Cependant, comme ces informations détaillées n'étaient pas disponibles pour les autres aéroports de notre échantillon, dans de tels cas, une estimation indirecte de la consommation d'énergie globale a été effectuée, en appliquant les indicateurs de performance clés calculés.

À partir des données fournies par les opérateurs de terminaux et les AdSP, il a été possible de calculer la valeur de certains indicateurs pour estimer la consommation d'autres opérateurs de terminaux appartenant aux ports de la zone du programme.

Le Tableau 17 présente les principaux indicateurs utiles pour mesurer / estimer la consommation d'énergie dans les différentes activités portuaires qui constituent des leviers de consommation capables d'expliquer l'évolution de la consommation d'énergie du port dans ses différents domaines et types d'activités. Pour les besoins de l'analyse, comme nous ne pouvons actuellement pas disposer de données de consommation fiables relatives à un nombre statistiquement significatif de terminaux, il n'est pas possible de calculer la valeur de ces indicateurs pour la préparation d'études économétriques. Par conséquent, dans la présente étude, les indicateurs de consommation ont été principalement utilisés (les indicateurs ID6 et ID7 en particulier), car ils ont démontré un niveau de robustesse plus élevé dans le traitement et les études menées, permettant une estimation plus précise, par rapport aux autres indicateurs étudiés, la consommation dans les terminaux portuaires situés dans les ports de l'échantillon.



Tableau 17. KPI pour l'estimation de la consommation d'énergie au niveau du port: définition et opérationnalisation

Categoria	Indicatore (ID)	Formula	Descrizione	Caratteristiche e efficacia dello "stimatore"
Dotazione di equipment	1	$\frac{Refeer\ plugs}{m^2}$	Densità di reefer plugs rispetto all'area portuale complessiva	La densità di reefer plugs presenti nel porto in relazione alla superficie complessivamente disponibile, costituisce una buona proxy per stimare una parte dei consumi energetici. Ciò in ragione degli elevati consumi energetici che questa facility genera.
	2	$\frac{Refeer\ plugs}{Teu_{eqv}}$	Rilevanza della capacità di stoccaggio reefer sul throughput complessivo	È un indicatore che consente di stimare la rilevanza delle facility di stoccaggio a piazzale dei container reefer, i quali sono alimentati elettricamente per mantenere la catena del freddo. Pertanto, maggiore sarà la dotazione di reefer plugs nel porto, in relazione ai traffici complessivi merci, maggiori saranno ragionevolmente i consumi elettrici.
Commerciale	3	$\frac{Feu}{Teu}$	Rapporto tra il numero di container FEU (40 piedi) e TEU (20 piedi)	La maggiore incidenza di container da 40 piedi (FEU) riduce il numero di manipolazioni necessarie sia lato banchina (ship-to-shore cranes) sia lato piazzale, a parità di volumi movimentati nel complesso (throughput espresso in TEU equivalenti). Il minor numero di manipolazioni da parte delle gru/mezzi di piazzale ("moves") riduce pertanto i consumi energetici per il funzionamento dell'equipment stesso (elettrico o diesel).
Efficienza	4	$\frac{Teu_{eqv}}{m^2}$	Indicatore di efficienza nello sfruttamento dello spazio destinato ad attività container	Un utilizzo più intensivo dello spazio, in ragione degli elevati volumi di container movimentati, conduce a parità di altre condizioni a maggiori consumi energetici.
	5	$\frac{Ton_{eqv}}{m^2}$	Indicatore di efficienza nello sfruttamento dello spazio destinato ad attività commerciali (terminal)	Un utilizzo più intensivo dello spazio, in ragione degli elevati volumi di merce (tutte le categorie), conduce a parità di altre condizioni a maggiori consumi energetici.
Consumo energetico	6	$\frac{kWh}{m^2}$	Densità di consumo energetico su area	È un indicatore di consumo energetico che mostra l'intensità dei consumi a metro quadro. Questo indicatore costituisce una sintetica proxy dei consumi riconducibili sia alle aree portuali scoperte (illuminazione, handling delle merci, etc.) sia ai volumi di magazzino dove le merci sono stoccate (illuminazione, handling delle merci e riscaldamento degli spazi coperti, etc.). Un valore elevato dell'indicatore evidenzia la presenza di attività portuali maggiormente "energivore" (energy intensive).
	7	$\frac{kWh}{Teu_{eqv}}$	Indice di consumo energetico rispetto ai volumi movimentati (espressi in TEU equivalenti)	È un indicatore di consumo energetico che mostra l'intensità dei consumi in relazione ai TEU equivalenti movimentati. Minore è il valore dell'indicatore maggiore, a parità di altre condizioni, è l'efficienza gestionale e produttiva delle attività portuali oggetto dell'analisi.
	8	$\frac{kWh}{Ton_{eqv}}$	Indice di consumo energetico rispetto al peso delle merci movimentate (espresso in tonnellate equivalenti)	È un indicatore di consumi energetici analogo al precedente, ma in questo caso la metrica contiene al denominatore le tonnellate complessive di merce (e non i "TEU equivalenti").

Source: notre élaboration.

### 3.6.9. Méthodologie utilisée

A partir des données relatives à la consommation réelle, les KPI relatifs à chaque opérateur de terminal ont été obtenus afin d'identifier leurs caractéristiques en termes de consommation d'énergie, grâce notamment à l'indice ID8, c'est-à-dire le rapport entre l'énergie primaire utilisée et les tonnes équivalentes .

Par rapport aux indices, les valeurs moyennes par terminal ont été calculées, grâce à une pondération calculée comme:

$$KPI\_AVG_i = \frac{\sum_{i=1}^n En_i}{\sum_{i=1}^n \pi_j} \quad [3]$$

L'indice «i» définit le type de KPI en fonction de la grande énergie considérée, qu'elle soit de nature: thermique, électrique (ou totale, donnée par la somme des deux précédentes). Le terme  $En_i$  indique la consommation électrique ou thermique globale des opérateurs / concessionnaires de terminaux. Alors que l'indice j associé au terme  $\pi_j$ , de l'équation [3], identifie la variable utilisée pour estimer chaque KPI. Afin de rendre comparable la consommation d'énergie thermique et électrique, il est nécessaire de convertir la consommation électrique (énergie absorbée) des exploitants de terminaux / concessionnaires en énergie primaire. Cette opération permet de comparer et de sommer l'utilisation réelle des ressources énergétiques thermiques et électriques, en amenant l'électricité en amont du réseau (via le rendement électrique national). Cette valeur moyenne pondérée permet d'étendre l'évaluation de la consommation à toutes les activités associées à la classe considérée aux autres ports considérés, à travers le produit entre le KPI et la quantité de référence au dénominateur.

La version complète du rapport présente les paramètres de performance des zones portuaires de Gênes et de Savone, répartis dans les différentes catégories d'opérateurs de terminaux identifiées. Pour valider le modèle, des étalonnages ont été effectués sur le port de Livourne, en utilisant les données de trafic de l'autorité portuaire. Dans le Tableau 18 pour des raisons de protection des données sensibles, seules les valeurs moyennes des KPI en question sont présentées. Il est à noter que ces KPI ont par la suite fait l'objet d'une étude approfondie et d'une amélioration significative en termes de détail et de précision, dans le cadre du projet SIGNAL dans la logique de capitalisation des résultats du projet TDI RETE-GNL comme indiqué dans la documentation correspondante (Tableau 19). Il est donc suggéré de considérer les valeurs ultérieures utilisées dans le projet SIGNAL lui-même (produits T1.3.1 et T1.3.2 et T1.5.1 suivants, rapport UNIGE).

Tableau 18. Calcul des valeurs moyennes des KPI pour l'estimation de la consommation d'énergie des terminaux: valeurs relatives à l'échantillon de terminaux examiné dans le projet TDI RETE-GNL.

Categorìa di terminal	No. Of observations	KPI_el		KPI_th	
		kWh/mc	kWh/Ton_eqv	kWh/mc	kWh/Ton_eqv
KPI_AVG_MULTIPURPOSE	4	19,39	1,04	39,62	2,12
KPI_AVG_CONTAINER	2	52,24	3,80	41,90	3,05
KPI_AVG_RINFUSE SOLIDE	5	46,69	4,07	28,02	2,44
KPI_AVG_RINFUSE LIQUIDE	7	66,26	6,59	53,40	5,31
KPI_AVG_CANTIERISTICA	11	324,66	-	89,04	-
KPI_AVG_PASSEGGERI	1	39,07	-	7,02	-
KPI_AVG_MARINE	1	38,87	-	1,16	-
KPI_AVG_ALTRO	6	23,97	-	13,32	-

Source: notre élaboration.

Tableau 19. Calcul des valeurs moyennes des KPI pour l'estimation de la consommation d'énergie du terminal: valeurs relatives à l'échantillon terminal examiné dans le projet SIGNAL.

Tipologia di terminal	KPIs selezionati		KPIs consumi elettrici		KPIs Consumi termici	
	Consumi Elettrici	Consumi Termici	kWh/mq	kWh/Ton_eqv	kWh/mq	kWh/Ton_eqv
General Cargo_Mutipurpose	kWh/Ton_eqv	kWh/Ton_eqv	20,12	<b>1,01</b>	34,85	<b>1,91</b>
General Cargo_Container	kWh/Ton_eqv	kWh/Ton_eqv	71,99	<b>3,27</b>	55,75	<b>2,53</b>
Rinfuse solide	kWh/Ton_eqv	kWh/Ton_eqv	44,87	<b>4,07</b>	26,92	<b>2,44</b>
Rinfuse liquide	kWh/Ton_eqv	kWh/Ton_eqv	58,74	<b>6,73</b>	36,31	<b>4,21</b>
Cantieristica	kWh/mq (di spazi in concessione)	kWh/mq (di spazi in concessione)	<b>180,65</b>	-	<b>93,67</b>	-
Terminal passeggeri	kWh/mq (di spazi in concessione)	kWh/mq (di spazi in concessione)	<b>38,65</b>	-	<b>6,94</b>	-
Marine	kWh/mq di specchi acquei e moli	kWh/mq di specchi acquei e moli	<b>8,97</b>	-	-	-

Source: notre élaboration.



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



### ***3.6.10. Analyse des besoins énergétiques du port de Gênes***

Sur la base des indicateurs de performance clés calculés et de l'analyse des statistiques descriptives, la consommation d'énergie relative au port de Gênes a été estimée conjointement en tenant compte des données de consommation réelle et des estimations des concessionnaires pour les données non disponibles. L'analyse aboutit à une estimation de la consommation d'énergie du port de Gênes, en énergie primaire, égale à 480,05 GWh, donnée par la somme de la consommation thermique (énergie primaire 193,21 GWh) et de la consommation électrique primaire (286,83 GWh).

Il est possible d'identifier le potentiel maximum lié à la demande portuaire en GNL dans l'hypothèse que les besoins énergétiques liés à la consommation thermique du vecteur d'énergie diesel sont convertis totalement ou au moins en partie en GNL. Par contre, le produit T2.1.2 présente les chiffres prospectifs de la consommation thermique globale et de la consommation liée au carburant Diesel / GNL pour répondre à la demande thermique des systèmes de manutention des équipements d'exploitation. En particulier, aux fins de, un taux de croissance annuel de la consommation d'énergie thermique de 2,5% entre 2016 et 2030 et de 1,5% entre 2030 et 2035 a été imposé (les résultats sont disponibles dans la version complète du document en question).

### ***3.6.11. Analyse des besoins énergétiques du port de Livourne***

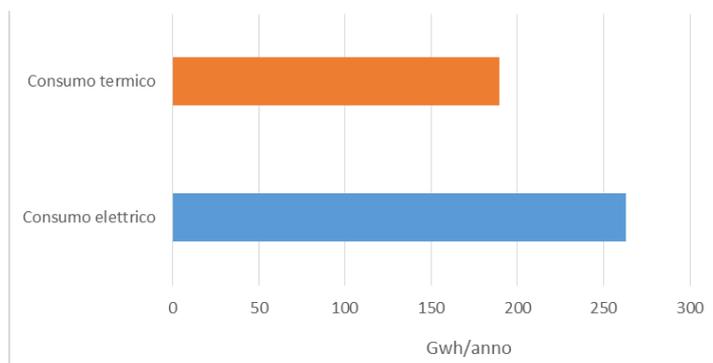
Concernant le port de Livourne, l'utilisation des KPI a conduit à une estimation de la consommation énergétique du port, en énergie primaire, égale à 221 GWh pour 2016, donnée par la somme des consommations thermiques (énergie primaire 107 GWh) et consommation électrique primaire (114 GWh). En additionnant les énergies primaires de Livourne et en les comparant aux résultats obtenus pour Gênes, la dimension énergétique de Livourne par rapport à Gênes est égale à 0,46; de plus, en analysant les catégories soumises aux flux de conteneurs et de fret, le ratio est de 0,66. Ces résultats, du fait de la proportionnalité entre les ratios de flux d'énergie et de fret, permettent de valider davantage les estimations à travers la méthodologie KPI utilisée, permettant d'appliquer les modèles de croissance pour le port de Gênes également dans le contexte de Livourne.

### ***3.6.12. Analyse des besoins énergétiques du port de Toulon***

Quant à Livourne, la consommation a été estimée pour le port de Toulon. Les résultats obtenus montrent une consommation d'énergie primaire de 26 GWh composée de la somme de l'énergie électrique primaire (20 GWh) et de l'énergie thermique (6 GWh). Il est nécessaire de préciser que l'absence de valeurs par rapport au vrac liquide et aux conteneurs, et la présence modeste de catégories de vrac solide et polyvalent, en plus de la moindre dimension spatiale du port de Toulon et de la présence d'une grande surface destinée à l'usage militaire, pourrait représenter un problème critique dans l'estimation de la consommation. Quant à Livourne, des modèles de croissance énergétique sont également présentés pour le port de Toulon.

À titre d'exemple, nous rapportons ci-dessous l'analyse de rentabilisation se référant au port de Gênes qui, comme indiqué dans la Figure 19, identifie les estimations de la demande potentielle de GNL dans le secteur maritime portuaire à partir d'une série d'hypothèses liées aux stratégies de soutien à l'introduction et à la diffusion du GNL dans la zone portuaire par les AdSP et les autorités portuaires compétentes, ainsi que par les différentes parties prenantes pertinentes (pour une analyse approfondie des profils en question, voir la version complète du produit T2.1.2). Voici une estimation de la consommation d'énergie du port de Gênes, en termes d'énergie primaire, donnée par la somme de la consommation thermique et de la consommation d'électricité primaire.

Figure 19. Estimations de la consommation du port de Gênes (énergie primaire): valeurs relatives à la consommation thermique et électrique et poids relatif de la consommation thermique et électrique.



Source: notre élaboration.

En aval, sur la base d'hypothèses d'analyse spécifiques, la part de la demande énergétique évoquée ci-dessus a été estimée, qui peut se traduire par une demande portuaire de GNL.

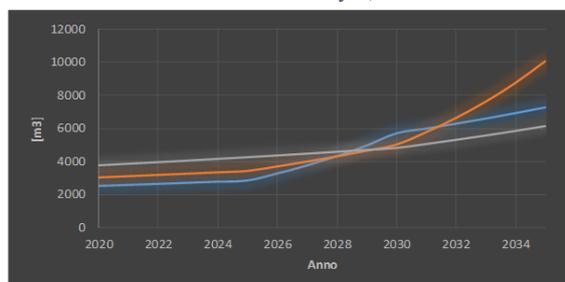
Une approche similaire a été adoptée en ce qui concerne les différents ports envisagés dans le formulaire (veuillez-vous reporter au produit T2.1.2 de TDI RETE-GNL dans sa formulation complète pour un examen détaillé des estimations ci-dessus).

Figure 20. Estimation des besoins énergétiques et de la demande portuaire en GNL potentiellement imputable au port de Gênes (estimations relatives au projet TDI RETE-GNL).

Energy consumption projections (electric primary energy & thermic energy) in the Port of Genoa (TDI RETE-GNL Project)



Alternative scenarios for LNG volumes in the port of Genoa (TDI RETE-GNL Project)



- > **Scenario 1:** linea azzurra, dal 2016 al 2025 viene convertito il 10%, dal 2025 al 2030 il 25% e dal 2030 al 2035 il 30% dell'energia prodotta dalle fonti diesel convertita in m³ di GNL.
- > **Scenario 2:** linea arancione, dal 2016 al 2025 viene convertito il 12%, dal 2025 al 2030 il 20% e dal 2030 al 2035 il 35% dell'energia prodotta dalle fonti diesel convertita in m³ di GNL.
- > **Scenario 3:** linea grigia, dal 2016 al 2025 viene convertito il 15%, dal 2025 al 2030 il 20% e dal 2030 al 2035 il 30% dell'energia prodotta dalle fonti diesel convertita in m³ di GNL.

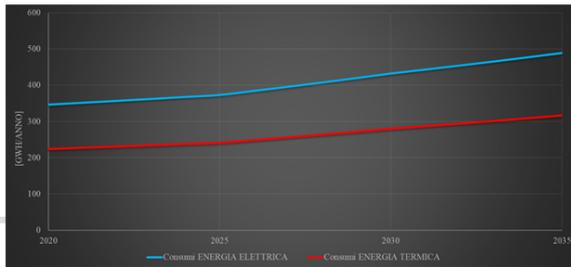
Source: Satta G., «The TDI RETE-GNL Project» nell'ambito dell'evento «La Méditerranée et l'économie bleue - Une coopération, des formations et des recherches», 05 febbraio 2020, Marsiglia (colloque Westmed Maritime Initiative).

Il est à nouveau précisé que les KPI développés dans le cadre du projet TDI RETE-GNL et les estimations concernant l'évolution de la demande de GNL potentiellement attribuable aux ports de la zone cible, ont par la suite fait l'objet d'une analyse approfondie et d'ajustements dans le contexte du projet SIGNAL. Cela a permis d'améliorer considérablement la capacité d'estimer les KPI susmentionnés et de formuler des estimations futures plus détaillées et plus fiables concernant la demande potentielle de GNL à attribuer à ce macro-segment du marché (Figure 21).

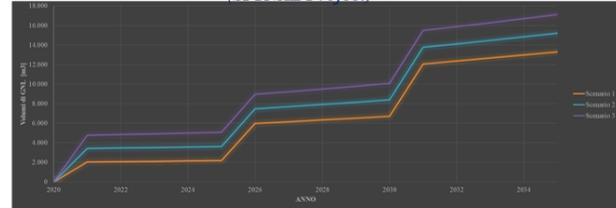
Figure 21. Estimation des besoins énergétiques et de la demande portuaire en GNL potentiellement imputable au port de Gênes (estimations relatives au projet SIGNAL).

- Le stime relative alla domanda portuale di GNL realizzate nell'ambito del Progetto TDI RETE-GNL sono state affinate nel Progetto SIGNAL, in ragione di una più ampia disponibilità di dati e di un diverso perimetro di consolidamento delle attività e delle aree portuali mappate
- Anche gli scenari sono stati ulteriormente affinati in ragione di una maggiore disponibilità di informazioni in merito alle strategie energetiche portuali delle singole AdSP/Port Authorities

*Energy consumption projections (electric primary energy & thermic energy) in the Port of Genoa (SIGNAL Project)*



*Alternative scenarios for LNG volumes in the port of Genoa (SIGNAL Project)*



- **Scenario 1:** linea azzurra, dal 2016 al 2025 viene convertito il 7,5%, dal 2025 al 2030 il 12,5% e dal 2030 al 2035 il 17,5% dell'energia prodotta dalle fonti diesel convertita in m<sup>3</sup> di GNL.
- **Scenario 2:** linea arancione, dal 2016 al 2025 viene convertito il 20%, dal 2025 al 2030 il 25% e dal 2030 al 2035 il 30% dell'energia prodotta dalle fonti diesel convertita in m<sup>3</sup> di GNL.
- **Scenario 3:** linea grigia, dal 2016 al 2025 viene convertito il 35%, dal 2025 al 2030 il 40% e dal 2030 al 2035 il 45% dell'energia prodotta dalle fonti diesel convertita in m<sup>3</sup> di GNL.

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

Source: Satta G., «The TDI RETE-GNL Project » nell'ambito dell'evento «La Méditerranée et l'économie bleue - Une coopération, des formations et des recherches», 05 febbraio 2020, Marsiglia (colloque Westmed Maritime Initiative).

### 3.7. Cartographie de la demande de terrain de GNL: résultats de l'enquête empirique

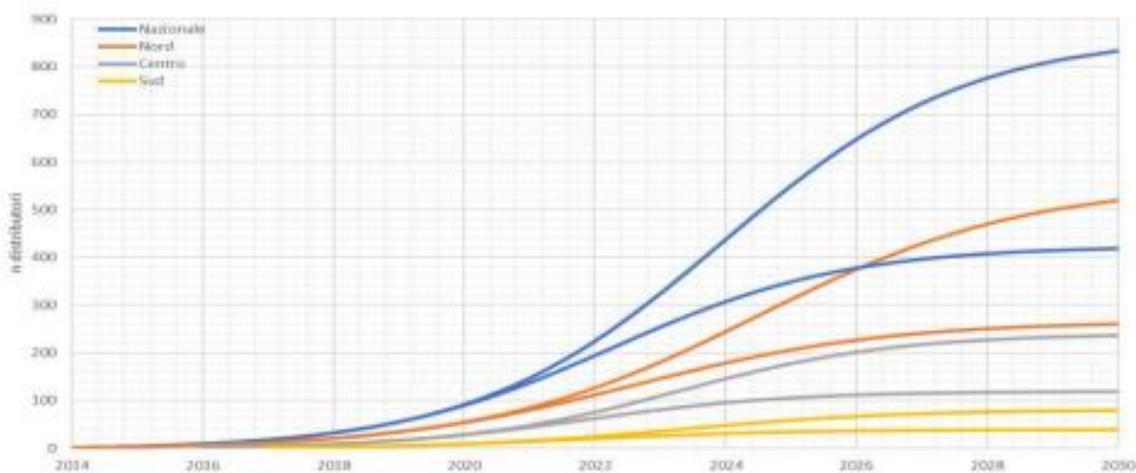
Dans cette section (préparée par le partenaire P2 avec le soutien du partenaire P3), l'état actuel et futur de la demande terrestre en GNL par rapport à la zone du programme et aux nœuds portuaires qui s'y trouvent a été analysé.

#### 3.7.1. Demande de soutage de GNL connectée au parc de véhicules terrestres GNL

La prévision de la demande de GNL sur le marché italien pour l'ensemble du parc de véhicules terrestres est de 76 000 t (REF-E, 2019). Compte tenu du nombre total de distributeurs présents sur le territoire national en 2019, la demande de GNL pour chaque distributeur est d'environ 1434 t / an.

REF-E suppose deux scénarios: scénario de base avec une prévision de demande de transport routier de 600 000 t; scénario élevé avec une prévision de demande de transport routier de 1 200 000 t. En supposant une demande de carburant par distributeur en 2030 de 1500 t / an (légèrement supérieure à l'actuelle, qui est déjà rémunératrice pour les opérateurs distributeurs avec des marges actuelles), le nombre de distributeurs en 2030, au niveau national, a été estimé à 420, pour le scénario de base, et 840 pour le scénario haut. En interpolant les tendances d'évolution des distributeurs et les valeurs supposées à 2030 avec des courbes logistiques, les projections représentées en Figure 22 pour les deux scénarios au niveau national et pour les macro-régions.

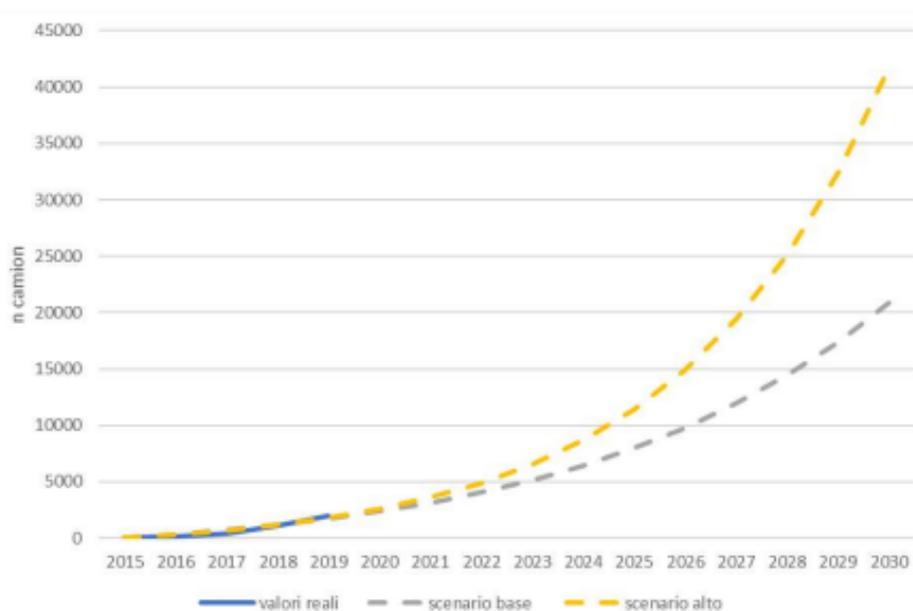
Figure 22. Projection de l'évolution du nombre de distributeurs de GNL pour le transport routier en Italie à l'horizon 2030



Source: notre élaboration.

Pour les trois macro-régions italiennes, la même tendance nationale a été supposée entre 2019 et 2030. Les données rapportées permettent d'estimer le nombre de camions GNL en circulation en Italie d'ici 2030, soit environ 20 800 camions en circulation, selon le scénario de base, et environ 41 600 selon le scénario haut. La Figure 23 représente l'évolution du nombre de camions en fonction des courbes logistiques (dans le scénario de base la courbe sature à environ 312 000 camions, dans le scénario haut à 1 818 000).

Figure 23. Projection de l'évolution du nombre de camions GNL en Italie à l'horizon 2030.



Source: notre élaboration.

Dans le cadre du produit T2.1.2, une estimation a été faite de la demande de l'offre de distributeurs de routes intérieures en 2030 par rapport aux gisements côtiers à Gênes et Livourne. Pour les besoins de

l'analyse, le rayon d'action des pétroliers médians de transport, à "baril cryogénique", du dépôt côtier aux distributeurs du parc de véhicules terrestres a été estimé et, par rapport à la densité de distributeurs dans la zone identifiée, il a été estimé la demande de GNL liée aux deux gisements.

Par rapport à la demande moyenne de GNL pour chaque distributeur routier, la demande probable de GNL se rapportant aux gisements côtiers examinés pour chaque scénario de développement hypothétique a été estimée. Les valeurs estimées sont indiquées dans le tableau suivant (Tableau 20).

Tableau 20. Estimation de la quantité de GNL pour approvisionner les distributeurs dans les zones d'influence des éventuels gisements côtiers de Gênes et Livourne à l'horizon 2030

	Genova			Livorno		
	N distributori	Massa [t]	Volume [m <sup>3</sup> ]	N distributori	Massa [t]	Volume [m <sup>3</sup> ]
<b>Scenario Base</b>	120	172.880	384.170	50	71.000	157.820
<b>Scenario Alto</b>	220	370.120	822.500	99	142.000	315.650

Source: notre élaboration.

Avec la même procédure, les zones de compétence de Toulon et Marseille ont été identifiées et une estimation de la demande de l'offre de distributeurs de routes intérieures à l'horizon 2030 (Tableau 21).

Tableau 21. Estimation de la quantité de GNL pour approvisionner les distributeurs dans les zones de compétence des éventuels gisements côtiers de Toulon et Marseille à l'horizon 2030.

	Tolone		Marsiglia	
	Massa [t]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Massa [t]	Volume [m <sup>3</sup> ]
<b>Scenario alto</b>	50.830	112.000	85.110	189.130
<b>Scenario base</b>	24.130	53.620	40.400	89.800

Fonte: Ns. elaborazione.

### 3.7.2. Réflexions sur la consommation potentielle de GNL dans la zone industrielle

Selon les estimations du REF-E, à partir de 2019, la consommation de GNL par les utilisateurs industriels hors réseau est estimée à 16 760 t. Ces utilisateurs sont tous situés dans le nord de l'Italie, sauf deux qui sont respectivement situés à Florence et Oristano. Dans les scénarios à 2030, ce type de demande est estimé entre 150 000 t (scénario de base) et 200 000 t (scénario haut); ces utilisateurs n'affectent pas les estimations de la demande terrestre relative au gisement côtier de Gênes et très peu sur Livourne.

Dans le produit T2.1.2. l'utilisation du GNL pour alimenter les centrales électriques de Corse a également été émise afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le rapport a analysé la structure actuelle du système électrique actuel, en particulier des deux centrales à combustibles fossiles: la centrale de Vazzio dans la région d'Ajaccio et la centrale de Lucciana. En supposant que la production à partir de sources fossiles soit maintenue aux niveaux actuels, et en considérant une valeur calorifique du GNL égale à 45 MJ / kg, l'équivalent de l'énergie destinée aux centrales thermiques a été estimé à environ 193000t (431000m<sup>3</sup>) de GNL.

Enfin, le document fournit également des estimations détaillées de la demande terrestre de GNL dans la région de la Sardaigne. Ces estimations sont basées sur les scénarios de référence de demande d'électricité, de chaleur et de mobilité rapportés dans le PEARS de la région autonome de Sardaigne.

En référence à la demande d'électricité, la consommation annuelle estimée de méthane est d'environ 280 Mm<sup>3</sup>. PEARS prévoit également une hypothèse de projet d'infrastructure pour la méthanisation de la Sardaigne.

L'analyse de la demande d'énergie thermique montre, pour le secteur résidentiel une demande future limitée en méthane, et pour le secteur industriel une demande d'une valeur significative entre 260 et 390 kTel, ce dernier secteur potentiellement intéressé par utilisation de ce vecteur d'énergie.

L'analyse de la demande de GNL du secteur des transports montre une valeur significative, comprise entre 184 et 335 Mm<sup>3</sup>.



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



#### **4. FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.1.3 " ETUDE POUR UN PLAN D'ACTION COMMUN POUR LE GNL DANS LA ZONE PORTUAIRE "**

##### **4.1. Objectif du produit T2.1.3**

Dans le cadre de l'activité T2.1. «Etude pour un plan d'action commun pour le GNL dans la zone portuaire» du projet TDI RETE-GNL, la préparation du produit T2.1.3 «Rapport de cartographie de l'offre» est également envisagée, qui a un rôle fondamental tant en ce qui concerne activités globales du projet tant en ce qui concerne le cluster de projets GNL mentionné dans le II Appel. La réalisation du produit en question a été possible grâce à la contribution coordonnée et intégrée des différents partenaires du projet, conformément aux dispositions du formulaire et également grâce à la capacité de mise en réseau du partenariat dans son ensemble qui a permis d'impliquer toutes les parties prenantes concernées en termes fonctionnels pour l'identification correcte de toutes les installations et usines existantes ainsi que de toutes les hypothèses de projet pertinentes en référence à l'infrastructure pour le GNL dans le contexte portuaire maritime par rapport à la zone du programme

En détail notamment:

- P1 / CF (UNIGE-CIELI): définition de la structure et du contenu global de la base de données préparée pour la cartographie de l'offre; définition d'outils et de méthodologies pour la collecte de données; collecte de données pour la préparation du DB en question; création de la version finale du produit T2.1.3; préparation de la fiche récapitulative relative au produit T2.1.3.
- P2 (UNIPID): validation de la structure et du contenu de la base de données proposée par le FC; soutien à la collecte de données relatives à la base de données; la préparation également avec le soutien de consultants externes de documents et de rapports pour soutenir l'étude de l'état actuel et futur du système d'infrastructure pour le GNL dans la zone cible; validation des versions intermédiaires et de la version finale du produit T2.1.3; validation de la fiche récapitulative du produit T2.1.3.
- P3 (UNICA-CIREM): validation de la structure et du contenu de la base de données proposée par le FC; participation directe à la collecte des données contenues dans la base de données pour la cartographie de l'offre; validation des versions intermédiaires et de la version finale du produit T2.1.3; validation de la fiche récapitulative du produit T2.1.3.
- P4 (OTC): soutien à la collecte de données empiriques pertinentes par rapport à la zone géographique de compétence; validation de la structure et du contenu de la base de données proposée par les FC; soutien à la collecte de données relatives à la base de données; validation des versions intermédiaires et de la version finale du produit T2.1.3; validation de la fiche récapitulative du produit T2.1.3.
- P5 (CCIVAR): soutien à la collecte de données empiriques pertinentes par rapport à la zone géographique de compétence; validation de la structure et du contenu de la base de données proposée par les FC; validation des versions intermédiaires et de la version finale du produit T2.1.3; validation de la fiche récapitulative produit T2.1.3. Par ailleurs, le partenaire a confié au consultant externe Lloyd's registrar la réalisation du Projet TDI-RETE-GNL T2.1.3 et T2.1.2 «Cartographie de l'offre et de la demande en GNL en France avec Focus sur la Méditerranée, Corse incluse» pour la cartographie de l'offre et de la demande dans les ports de la zone France et Corse.

Les documents complets produits sont disponibles sur le portail Interreg Maritime Programme 1420

Le produit T2.1.3 "Rapport de cartographie de l'offre" inclus dans le projet TDI RETE-GNL du programme Interreg Italie-France Maritime 2014-2020 vise à créer un document de synthèse pour

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



l'examen des connaissances de base plus pertinentes concernant l'état de l'art des infrastructures de soutage et de stockage de GNL dans les ports de la zone cible. Dans le cadre des activités de recherche menées et de manière fonctionnelle pour la préparation du rapport final (Produit T2.1.3), le partenariat a également créé un fichier Excel qui constitue une base de données détaillée sur l'état des infrastructures de soutage et de stockage de GNL dans la Zone d'Objectif du Programme et dans les zones de proximité géographique, en raison de l'importance que les installations situées dans cette dernière peuvent avoir par rapport à la planification stratégique de la chaîne d'approvisionnement globale en GNL dans les régions étudiées.

A ces fins, le rapport produit par le Chef de file et par les partenaires du projet TDI RETE-GNL traite des problématiques résumées ci-dessous telles que les principales solutions de soutage de GNL, les profils méthodologiques de l'analyse réalisée et le système infrastructurel du GNL dans le zone de programme.

#### **4.2. Examen des systèmes d'approvisionnement pour l'avitaillement, le stockage et la distribution de GNL: principales solutions technologiques.**

Les configurations de soutage de GNL les plus courantes, telles que connues, peuvent être retracées dans 4 catégories de base, répertoriées ci-dessous:

1. Configuration Truck to Ship (TTS);
2. Configuration Ship to Ship (STS);
3. Configuration Port to Ship, Terminal to Ship et pipelines (PTS);
4. Configuration Mobile Fuel Tanks

La configuration TTS prévoit que le ravitaillement du navire s'effectue au moyen d'un camion-citerne ou d'un camion-citerne dédié au stockage et au transport du GNL. Plus précisément, le camion citerne est positionné à l'endroit utilisé pour le ravitaillement, et au moyen de tuyaux flexibles d'un diamètre compris entre 2 "et 4" (respectivement environ 5 et 10 cm) supportés par des instruments spécifiques visant à garantir la stabilité de la connexion et la sécurité du opérations, le carburant est transféré à l'intérieur des réservoirs du navire. Cette procédure peut également être effectuée par une canalisation faisant partie de l'équipement du camion-citerne qui, au moyen d'une pompe installée / accrochée dessus ou accrochée à l'extérieur du bateau-citerne au moment du ravitaillement, effectue lui-même l'opération. Une fois ces opérations terminées, le camion ou 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, afin d'approvisionner ses propres réservoirs afin de démarrer un nouveau cycle de soutage.

La deuxième méthode, Ship to Ship, prévoit à la place l'utilisation du soi-disant barges, petites unités navales qui, tant en haute mer que dans les zones protégées du port, utilisent des conduites flexibles et des systèmes de pompage dont elles sont équipées pour effectuer les opérations de ravitaillement.

La configuration PTS, qui fait partie des systèmes Terminal to Ship, effectue la procédure de ravitaillement des navires par des conduites (flexibles ou rigides selon les besoins) qui transfèrent le GNL provenant d'une station d'avitaillement à terre spécialement préparée.

Enfin, la configuration technologique des réservoirs mobiles de carburant prévoit l'utilisation de réservoirs mobiles, et en particulier de réservoirs cryogéniques ou conteneurs ISO ayant la caractéristique d'isolant polyuréthane à double paroi ou simple paroi, qui assurent temporairement la fonction de stockage de GNL. . Au moment de la manifestation de la demande, ceux-ci sont transférés sur les quais du port afin d'effectuer les opérations de ravitaillement des navires présents.

#### **4.3. Profils méthodologiques**

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

Pour la réalisation du Produit T.2.1.3 d'un point de vue méthodologique, le partenariat a mené une vaste activité de collecte de données et d'informations détaillées sur les infrastructures existantes de soutage et de stockage de GNL dans la zone portuaire, en phase de réalisation ou pour lesquels des propositions de projets concrets existaient. Cela exigeait l'application de méthodes de recherche à la fois «en ligne» et «sur le terrain». Toujours d'un point de vue méthodologique, en faisant toujours la distinction entre les méthodologies "en ligne" (« desk research ») et "sur le terrain", les aspects suivants sont détaillés dans le produit T2.1.3:

- Définition du domaine d'études et définition de l'échantillon;
- Procédures de collecte et de retraitement des données;
- Données et informations examinées.

#### 4.3.1. Activités de type « en ligne recherche »

En particulier, en ce qui concerne les activités de recherche de pont (recherche de données "en ligne", la délimitation du champ d'enquête (infrastructures de soutage et de stockage de GNL) a conduit à l'identification de trois agrégats géographiques différents:

- les ports de la Zone d'Objectif du Programme (Ligurie, Toscane, Sardaigne, Corse, Région PACA),
- ports italiens et français en dehors de la zone cible susmentionnée
- zone MED et zone MENA.

Les raisons du choix susmentionné se trouvent surtout dans les spécificités du secteur et des infrastructures examinées: l'existence d'«économies de réseau» fondamentales et l'indivisibilité à la fois minimale et mixte, signifiant la centralité du caractère «réseau» de ce type de les infrastructures en référence au secteur client constitué par l'armement, nécessitent en effet d'examiner la présence d'installations et d'usines de soutage et de stockage de GNL également en dehors des ports prévus sous la forme, dans des zones de proximité géographique raisonnable pour mieux comprendre les durabilité de la chaîne d'approvisionnement en GNL dans une logique globale.

La phase de collecte et de retraitement des données a été articulée dans une procédure initiale de validation de la méthodologie par le partenariat qui a été suivie par la conception détaillée de la base de données, mise en œuvre par la suite grâce à l'activité de collecte de données menée par chaque partenaire de projet pour les zones géographiques de sa compétence. Ces activités ont conduit à la préparation d'une base de données finale qui comprend 54 champs avec différents types et spécifications (rapportés dans le Tableau 22).

Tableau 22. Cartographie des systèmes d'offre - Recherche en ligne: données et informations collectées

Dato	Descrizione	Tipo di dato	Specifica dato
ID_CODE	Codice alfanumerico identificativo della stringa		
Nazione	Nome della nazione ove è ubicato il porto	Qualitativo	Testo
Città	Nome della città di riferimento del porto	Qualitativo	Testo
Porto	Nome del porto	Qualitativo	Testo
Facility_Name	Nome della facility	Qualitativo	Testo
Facility_Type	Tipologia di terminal/facility	Qualitativo	Label
Geo- referenziazione – Latitudine	Coordinate geospaziali relative alla latitudine	Geo-spaziale	GPS
Geo-	Coordinate geospaziali relative alla longitudine	Geo-spaziale	GPS



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**TDI RETE-GNL**



referenziazione - Longitudine			
Area obiettivo	Appartenenza all'Area Obiettivo dell'INTERREG 1420. Dummy variable con valore 1 = in area obiettivo, 0 = fuori area obiettivo	Quantitativo	Dummy
Area Target TDI	Inclusione a formulario nell'ambito del Progetto TDI RETE-GNL. Dummy variable con valore 1 = previsto a formulario TDI RETE-GNL, 0 = non previsto a formulario TDI RETE-GNL	Quantitativo	Dummy
Stato infrastruttura	Stato di pianificazione/realizzazione dell'infrastruttura: variabile categorica con previsione di 6 campi possibili: Pianificato (preliminary); Pianificato (final); Autorizzato; Under construction; Completed; Operative	Qualitativo	Label
Stato avanzamento iter autorizzativo	Variabile qualitativa che prevede 4 categorie possibili: N = non presentata ancora la richiesta; O = in attesa di valutazione; S = Autorizzato; C = cancellato	Qualitativo	Label
Data di avvio cantieri	Data (prevista o effettiva) di avvio dei cantieri di costruzione	Qualitativo	Data
Data di chiusura dei cantieri	Data (prevista o effettiva) di chiusura dei cantieri per la costruzione della facility/struttura	Qualitativo	Data
Tempi di costruzione	Numero di mesi necessari per la realizzazione del sistema di bunkering o la struttura.	Quantitativo	Mesi
Soggetto autorizzante	Nominativo del soggetto che deve autorizzazione la realizzazione e la gestione dell'infrastruttura	Qualitativo	Testo
Soggetto gestore	Indicazione della ragione sociale del soggetto che ha richiesto l'autorizzazione	Qualitativo	Testo
Soggetto realizzatore	Indicazione della ragione sociale del soggetto che fornisce la tecnologia per la realizzazione della soluzione di bunkering	Qualitativo	Testo
Descrizione impianto	Descrizione delle principali caratteristiche dell'impianto	Qualitativo	Testo
Terminal size (m <sup>2</sup> )	Dimensioni dell'impianto misurata in m <sup>2</sup>	Quantitativo	Mq
Capacità di stoccaggio in m <sup>3</sup>	Capacità di stoccaggio complessiva dell'impianto misurata in m <sup>3</sup>	Quantitativo	m <sup>3</sup>
Procurement (infrastructural endowment)	Eventuale collegamento infrastrutturale via pipeline o mediante altre soluzioni Small Scale LNG (per esempio "collegato/collegabile a Panigallia o OLT" o in generale a un'infrastruttura per la gassificazione o la rigassificazione", etc.)	Qualitativo	Testo
Alimentazione e distribuzione	Profili descrittivi connessi all'alimentazione/distribuzione dell'impianto	Qualitativo	Testo
Movimentazione volumi a regime annui in m <sup>3</sup>	Movimentazione prevista dati in m <sup>3</sup>	Quantitativo	m <sup>3</sup>
Movimentazione volumi_year of forecasting	Anno di riferimento relativo al forecasting (y. 2023)	Quantitativo	Anno
Tecnologie impiegate	Configurazione Truck to Ship (TTS); Ship to Ship (STS); Terminal to Ship (TPS), Mobile Fuel Tanks (MFT)	Qualitativo	Label
Capacità di rifornimento_Type	Specificare il tipo di nave per cui il dato successivo viene rilevato	Qualitativo	Label
Capacità di rifornimento_Timing	Specificare le tempistiche connesse al rifornimento di diverse tipologie di navi	Quantitativo	To Be Defined
Investimenti in CAPEX (€)	Ammontare complessivo degli investimenti in capital expenditures necessarie per la realizzazione dell'impianto	Quantitativo	Euro
Eventuali informazioni connesse agli OPEX	Profili connessi ai costi per la gestione dell'impianto/soluzione tecnologica	Quantitativo	Euro
Layout information	Descrizione testuale dei principali profili connessi al layout della facility/struttura	Qualitativo	Testo
Layout information_graphics	Link a cartina, o cartina o descrizione testuale	Qualitativo	Figura

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



Procedure operative	Descrizione testuale dei principali profili connessi alle procedure operative	Qualitativo	Testo
Profili di safety & security	Descrizione testuale dei principali profili connessi alla safety & security	Qualitativo	Testo
Domanda futura GNL_	FOCUS su tipologie di flotta che transitano per il porto FOCUS su volumi relativi alle tipologie di traffici cargo FOCUS su traffici PAX e CRUISE		
Governance settings			
Tipologia degli attracchi per il Bunkering	Definire la tipologia degli attracchi dedicati al Bunkering dei natanti con previsione di 5 campi possibili: Banchina all'interno del Porto; Pontile e Dolphins; Isola Offshore; Monoboa galleggiante; Campo Boe Offshore	Qualitativo	Label
Numero attracchi per il Bunkering	Indicare il numero dei potenziali attracchi o quelli esistenti per il Bunkering	Quantitativo	n°
Lunghezza Banchine o numero boe di attracchi per il Bunkering	Indicare la lunghezza delle banchine potenziali/presenti oppure il numero di boe o pontili potenziali/presenti per il Bunkering	Quantitativo	metri/n °
Pescaggio riferito agli attracchi per il Bunkering	Profondità in metri	Quantitativo	metri/n °
Tipologia degli attracchi per lo scarico/carico del GNL	Definire la tipologia degli attracchi dedicati allo scarico/Carico del GNL verso depositi costieri con previsione di 5 campi possibili: Banchina all'interno del Porto; Pontile e Dolphins; Isola Offshore; Monoboa galleggiante; Campo Boe Offshore	Qualitativo	Label
Numero attracchi per carico/scarico GNL	Indicare il numero dei potenziali attracchi o quelli esistenti per il carico/scarico GNL	Quantitativo	n°
Lunghezza Banchine o numero boe di attracchi per carico/scarico GNL	Indicare la lunghezza delle banchine potenziali/presenti oppure il numero di boe o pontili per lo scarico/carico GNL	Quantitativo	metri/n °
Pescaggio riferito agli attracchi per carico/scarico GNL	Profondità in metri	Quantitativo	Metri
Caratteristiche aree stoccaggio del GNL	Descrivere le caratteristiche delle aree reali o potenziali per lo stoccaggio del GNL, con eventuali vincoli al contorno, criticità quali la vicinanza a zone abitate, o impianti o aree sensibili, giacitura, limiti alla espansione futura	Qualitativo	Testo
Distanza dai centri urbanizzati: dal centro città	Indicare la distanza del centro città più vicino	Quantitativo	Km
Distanza dai centri urbanizzati: dal punto di confine più vicino della città	Indicare la distanza dai punti di confine edificato più vicino della città	Quantitativo	Km
Distanza attracco dalle aree di Localizzazione depositi	Indicare la distanza del punto di attracco della nave con la zona di deposito	Quantitativo	Metri
Livello di accessibilità per il Bunkeraggio con veicoli stradali	Distanza del varco di accesso al porto al punto di attracco per il bunkeraggio (nel caso TTS)	Quantitativo	Km
Livello di accessibilità del terminal rifornimento GNL stradale	Distanza del varco Portuale al punto stazione di rifornimento per mezzi trasporto merci su gomma	Quantitativo	Km
Livello di accessibilità ferroviario	Distanza del punto di deposito dalla rete ferroviaria	Quantitativo	Km
Livello di accessibilità stradale	Distanza del varco portuale dalla rete fondamentale (statale o autostradale)	Quantitativo	Km
Percorsi urbani e sub urbani	Distanza percorsa dai mezzi su Gomma GNL in aree urbane per accedere al varco Portuale (porto dentro aree urbane)	Quantitativo	Km



Dimensione aree di sosta mezzi GNL	Dimensione delle aree di sosta e numero di stalli dei mezzi pesanti dedicati al rifornimento e Bunkering TTS	Quantitativo	m <sup>2</sup>
Aree dedicate al rifornimento dei mezzi stradali a propulsione GNL	Definire ed indicare le caratteristiche dimensionali e tipologiche delle aree potenzialmente utilizzabili per il rifornimento dei mezzi pesanti stradali, con link a cartina e con descrizione testuale	Qualitativo	Testo+link

Source: notre élaboration.

Distinguant les trois agrégats géographiques ci-dessus, ils ont été inclus dans la base des données:

- 9 aménagements / hypothèses de conception dans la zone cible du projet (Ligurie, Toscane, Sardaigne, Corse, Région PACA);
- 7 installations / hypothèses de conception dans les ports italiens et français en dehors de la Zone d'Objectif du Programme;
- 20 installations / hypothèses de conception présentes dans la zone MED et la zone MENA.

**4.3.2. Activités de type «sur le terrain»**

En ce qui concerne les activités de type «sur le terrain», un questionnaire spécifique a été élaboré et administré tant aux opérateurs privés qu'aux autres acteurs intéressés par le développement ou la construction d'usines pour la réalisation d'opérations de soutage / stockage de GNL dans le secteur maritime. port et divisé en quatre sections principales, y compris les informations relatives à la personne interrogée, le projet / installation d'intérêt, les données quantitatives qui y sont liées (telles que la demande, les prix et les investissements) et enfin, les informations relatives aux profils technologiques et aux procédures d'exploitation de l'installation. Il est à noter que la collecte de données à travers ce questionnaire a été rendue possible grâce à la coordination avec les partenaires du projet et avec les AdSP responsables des ports internes de la zone cible du projet.

Au total, 11 questionnaires ont été reçus selon la répartition géographique suivante:

- Ligurie: 5
- Toscane: 2
- Sardaigne: 2
- Région PACA: 1
- La Corse: 1

Pour un examen détaillé, veuillez vous référer au paragraphe 3.1.2 du produit T2.1.3 "Rapport de cartographie de l'offre".

**4.4. Résultats de la recherche empirique**

**4.4.1. Positionnement du système d'infrastructure pour le GNL de la zone du programme par rapport à l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement européenne et au bassin méditerranéen**

Les considérations ultérieures liées aux zones géographiques individuelles incluses dans le bassin interne au programme ne peuvent partir que d'un réexamen de la localisation du système d'infrastructure GNL à l'étude par rapport à la chaîne d'approvisionnement globale du continent européen et plus particulièrement du bassin méditerranéen.

À cette fin, trois types d'infrastructures ont été examinés, dont les données ont été fournies par l'association Gas Infrastructure Europe (GIE) pour tous les ports de la zone de programme. Plus précisément, trois types d'infrastructures différents ont été examinés: les terminaux de regazéification, les installations de stockage de GNL / dépôts côtiers et le réseau de distribution de méthane liquide GNL pour les véhicules lourds..

**4.4.1.1. Terminaux de regazéification**

En ce qui concerne les terminaux de regazéification, une augmentation significative de la capacité des terminaux européens est à signaler sur un horizon temporel allant de 2017 à 2026 pour une capacité totale estimée à 300 milliards de m<sup>3</sup> / an du réseau de regazéification au niveau européen. Un aspect particulièrement important est le fait que, comme indiqué dans la Figura 24, la contribution des infrastructures de la zone du programme à ces données est particulièrement significative puisqu'elles représentent actuellement environ 31% des usines en exploitation en Méditerranée.

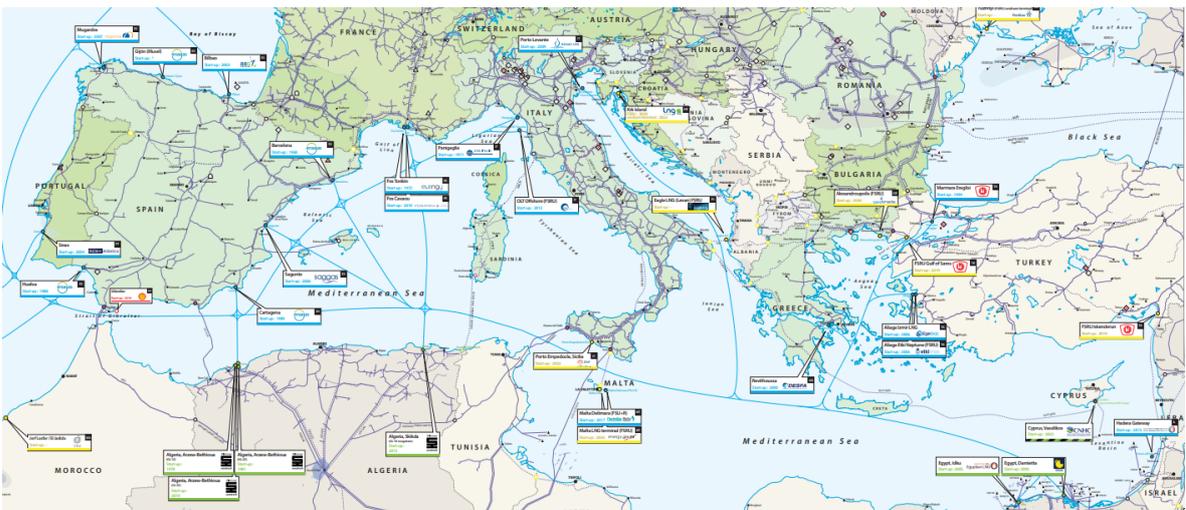
Figura 24. Capacité de regazéification des terminaux européens.



Source : GLE LNG Investment Database, 2018.

La Figure 22 montre les usines de regazéification de GNL actuellement opérationnelles (bleu), en construction (rouge) et en phase de planification (jaune), cartographiées par le GIE en 2017.

Figura 25. Terminal de regazéification en Méditerranée

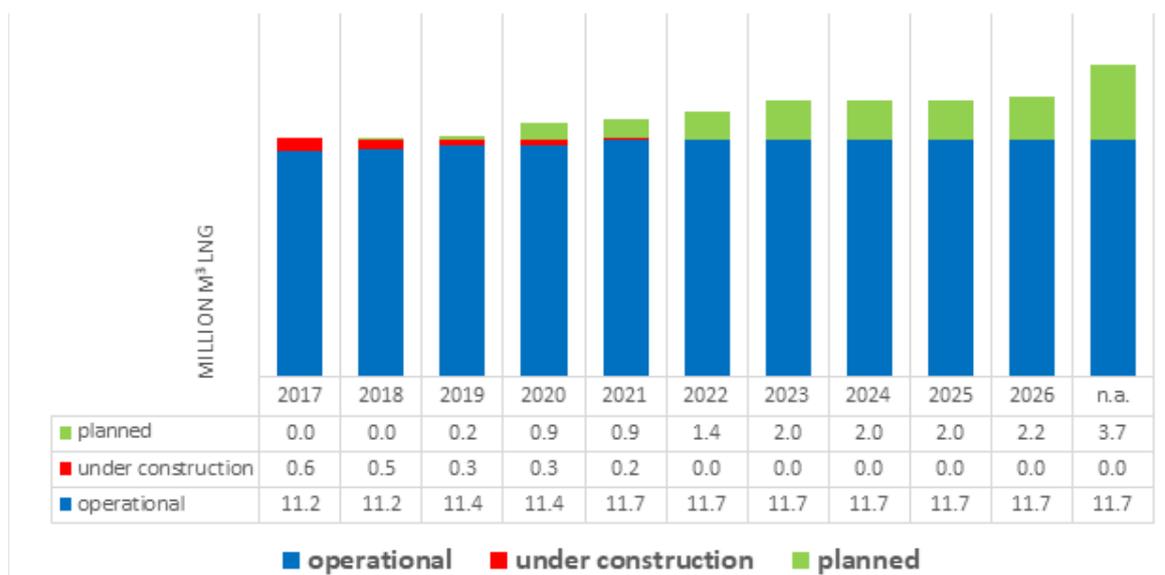


Source: Gas Infrastructure Europe (GIE), 2017.

#### 4.4.1.2. Installations de stockage de GNL et gisements côtiers

Le secteur des installations de stockage et des dépôts côtiers a également montré des tendances évolutives significatives avec une croissance estimée en 2019 de la capacité future d'ici 2026, augmentant de 20% par rapport aux valeurs actuelles compte tenu à la fois des usines en fonctionnement et de celles en phase de planification (Figure 26). Le niveau prospectif des infrastructures par rapport aux usines de ce type semble encore plus pertinent en termes quantitatifs si l'on considère les récentes initiatives de projet qui affectent plusieurs ports nationaux et étrangers à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de la Zone d'Objectif du Programme.

Figure 26. Capacité de stockage de GNL des terminaux européens.



Source: GLE LNG Investment Database, 2018.

#### 4.4.1.3. Réseau de distribution de méthane liquide GNL pour véhicules lourds

L'analyse menée sur l'ensemble du réseau de distribution SSLNG dans le contexte européen, a mis en évidence une certaine pertinence de l'Italie du Nord dans le paysage européen, alors que le réseau espagnol est le plus développé.

#### 4.4.2. Infrastructure pour le GNL en Italie: l'état de l'art

Le chef de file du projet CIELI-UNIGE, conjointement avec les partenaires du projet UNIPI, UNICA-CIREM, OTC et CCIV, en relation avec le produit T2.1.3 ou a procédé à la collecte et à la systématisation des données relatives aux infrastructures déjà en Excel existant, en construction, en phase de conception et les principales études de faisabilité réalisées en relation avec les ports prévus dans le formulaire (Gênes, Savone, La Spezia, Livourne, Cagliari, Toulon et Bastia).

Pour l'Italie, les installations / hypothèses de projet suivants ont été cartographiés:

1. Terminal de regazéification de Panigaglia (La Spezia, Ligurie)
2. Hypothèse de conception par Fratelli Cosulich (Ligurie)
3. Hypothèse de conception par Ottonello Novella (Ligurie)
4. Hypothèse de conception de A.O.C. Srl (Gênes, Ligurie)
5. Terminal de regazéification «FSRU Toscana» (Livourne, Toscane)
6. Dépôt côtier dans le port de Livourne (Signal) (Livourne, Toscane)

TDI RETE-GNL



7. Dépôt côtier Higas "Terminal Higas di Oristano" (Oristano, Sardaigne)
8. Dépôt côtier Edison "Marine Terminal Oristano" (Oristano, Sardaigne)
9. Gisement côtier de IVI Petrolifera (Oristano, Sardaigne)
10. Stockage côtier des installations multiples ISGAS ENERGIT (Cagliari, Sardaigne)
11. Entrepôt côtier du consortium industriel de la province de Sassari (Porto Torres, Sardaigne).

Pour la France, les installations / hypothèses de projet suivants ont été cartographiés:

1. Usine de gazéification de Fos-Tonkin
2. Usine de gazéification de Fos-Cavaou
3. Hypothèse de conception dans le port de Toulon.

#### 4.4.2.1. Terminaux de gazéification

L'étude réalisée sur le produit T2.3.1 a mis en évidence une capacité globale des terminaux de gazéification égale à environ 47,75 milliards de m<sup>3</sup>/an, dont 32 milliards sont liés aux infrastructures qui sont toujours en cours d'autorisation. Le suivant Tableau 23 montre les terminaux de gazéification fonctionnant en Italie à la date de mise en œuvre de la dernière version du Produit T.2.1.3 tandis que le Tableau 23 met en évidence l'état des terminaux de gazéification autorisés au niveau national.

Tableau 23. Terminaux de gazéification opérant en Italie.

Tipo di infrastruttura	Nome	Gestore	Localizzazione	Regione	AdsP competente	Capacità max di rigassificazione (mld m <sup>3</sup> )	Stato infrastruttura	Soluzione di bunkering
Terminale di rigassificazione	Panigaglia	GNL Italia (Gruppo Snam)	La Spezia (Panigaglia)	Liguria	AdSP del Mar Ligure Orientale	4	Operativa	Studio di fattibilità per bettolina (2017)
Terminale di rigassificazione	FSRU Toscana	OLT Offshore LNG Toscana	Livorno	Toscana	AdSP del Mar Tirreno Settentrionale	3.75	Operativa	Studio di fattibilità per bettolina (2015); progettazione di dettaglio (2019)
Terminale di rigassificazione	Adriatic LNG	Terminale GNL Adriatico	Rovigo (Porto Levante)	Veneto	AdSP del Mar Adriatico Settentrionale	8	Operativa	Studio di fattibilità per bettolina (2015)

Source: notre élaboration sur les données de Assocostieri (2018).

Tableau 24. Terminaux de gazéification sous autorisation en Italie.

Tipo di infrastruttura	Nome	Gestore	Localizzazione	Regione	AdsP competente	Capacità di rigassificazione (m <sup>3</sup> )	Stato	Soluzione di bunkering
Rigassificatore	Falconara marittima LNG Terminal	API-Nova Energia	Falconara marittima	Marche	Autorità di Sistema portuale del Mar Adriatico Centrale	4 miliardi	Autorizzato	Prevista
Rigassificatore	ND	Edison	Rosignano	Toscana	Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale	8 miliardi (con 2 serbatoi di stoccaggio pari a 320.000 m <sup>3</sup> )	Procedura autorizzativa in corso (VIA rilasciata)	Prevista
Rigassificatore	Trieste Monfalcone LNG Terminal	Smart Gas	Monfalcone	Friuli-Venezia-Giulia	Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico orientale	ND	Rilasciato parere negativo di VIA a marzo 2017	Prevista
Rigassificatore	Porto Empedocle LNG Terminal	Nuove Energie	Porto Empedocle	Sicilia	Autorità di Sistema Portuale della Sicilia Occidentale	8 miliardi	Autorizzato (Rinuncia all'investimento da parte di Enel nel 2016)	Prevista
Rigassificatore	LNG Medgas Terminal	LNG Medgas Terminal Srl (Iren Group - Sorgania)	Gioia Tauro	Calabria	Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	12 miliardi (con 4 serbatoi di stoccaggio pari a 160.000 m <sup>3</sup> ciascuno)	VIA rilasciata nel 2008; Sospensione dell'autorizzazione alla costruzione e all'esercizio del rigassificatore da parte del MISE nel 2013	Previsto rifornimento di LNG attraverso bettoline

Source: notre élaboration sur les données de Assocostieri (2018).

Le partenariat, avec le soutien des différentes parties prenantes concernées, a constamment mis à jour la cartographie en question.

#### 4.4.2.2. Installations de stockage et dépôts côtiers de GNL

En ce qui concerne les gisements côtiers pour la distribution de GNL, selon les données d'Assocostieri, au 31 mars 2018, les infrastructures autorisées ou avec procédures d'autorisation activées étaient de 8, pour une capacité totale de stockage de 121000 m<sup>3</sup>. Dans ce cas également, les régions appartenant à la zone d'objectifs voient un poids très important si l'on considère que 6 des 8 infrastructures mentionnées ci-dessus sont situées en Sardaigne et en Toscane, pour une capacité totale de stockage de 69000 m<sup>3</sup>, soit environ 57% de la capacité globale nationale prévue.

La mise à jour des données au 28 février 2019 permet d'identifier 4 gisements côtiers supplémentaires relatifs aux stockages prévus pour Gioia Tauro (640.000 m<sup>3</sup> de stockage potentiel, utilisant 4 réservoirs de 160.000 m<sup>3</sup> chacun); Crotona (20.000 m<sup>3</sup> de stockage potentiel); Naples; Augusta. Les données relatives aux différentes infrastructures stockées sont présentées ci-dessous dans le Tableau 25.

Tableau 25. Gisements côtiers de GNL en Italie (opérationnels ou sous autorisation)

Tipo di infrastruttura	Nome	Gestore	Localizzazione	Regione	AdSP competente	Capacità di stoccaggio (m <sup>3</sup> )	Stato	Soluzione di bunkering
Deposito costiero	Terminal Higas di Oristano	Higas	Oristano	Sardegna	AdSP del Mar di Sardegna	9,000	In corso di realizzazione	Prevista
Deposito costiero	Marine Terminal Oristano	Edison	Oristano	Sardegna	AdSP del Mar di Sardegna	10,000	In attesa di valutazione	Prevista
Deposito costiero	ND	IVI Petroliera	Oristano	Sardegna	AdSP del Mar di Sardegna	9,000	In attesa di valutazione	Prevista
Deposito costiero + mini terminale di rigassificazione	ND	ISGAS ENERGIT Mutuutilities	Cagliari	Sardegna	AdSP del Mar di Sardegna	22,000	In attesa di valutazione	Prevista
Deposito costiero	ND	Consorzio industriale provincia di Sassari	Porto Torres	Sardegna	AdSP del Mar di Sardegna	10,000	Non ancora presentata la richiesta	Prevista
Deposito costiero	ND	Costiero Gas Livorno, Neri e SIGL-Vulcanigas	Livorno	Toscana	AdSP del Mar Tirreno Settentrionale	9,000	Non ancora presentata la richiesta	Prevista
Deposito costiero	Depositi Italiani GNL	Edison e PIR	Ravenna	Emilia Romagna	AdSP del Mare Adriatico Centro-settentrionale	20,000	Autorizzato	Prevista
Deposito costiero	ND	Venice LNG	Venezia (Porto Marghera)	Veneto	AdSP del Mare Adriatico Settentrionale	32,000	In attesa di valutazione	Prevista
Deposito costiero (+ terminale indicato in precedenza)	LNG Medgas terminal	LNG Medgas terminal	Gioia Tauro	Calabria	Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno meridionale	640,000	In attesa di valutazione	Prevista
Deposito costiero	Progetto deposito di GNL nel porto di Crotona	Ionio Fuel	Crotona	Calabria	Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno meridionale	20,000	Non è ancora stata presentata la richiesta (piano)	Prevista
Deposito costiero	ND	ND	Napoli	Campania	Autorità di Sistema Portuale del mar Tirreno centrale	ND	Non è ancora stata presentata la richiesta (pre-studio di fattibilità)	Prevista
Deposito costiero	ND	ND	Augusta	Sicilia	Autorità di Sistema Portuale della Sicilia orientale	ND	Non è ancora stata presentata la richiesta (manifestazione d'interesse)	Prevista

Source: notre élaboration.

Dans ce cas également, le partenariat a suivi l'évolution de l'état du système d'approvisionnement (Figure 27).



Figure 27. Suivi et mise à jour de la cartographie des infrastructures GNL dans le secteur portuaire maritime: l'état de l'art des gisements côtiers en Italie (septembre 2020).

### ➤ Depositi costieri

Autorità di Sistema Portuale	Società	Localizzazione	Stato	Capacità di stoccaggio (mc)
AdSP del Mar Di Sardegna	Higas	Oristano	In costruzione	9.000
AdSP del Mar Di Sardegna	Edison	Oristano	Autorizzato	10.000
AdSP del Mare Adriatico Centro-Settentrionale	Depositi Italiani GNL	Ravenna	In costruzione	20.000
AdSP del Mare Adriatico Settentrionale	Venice LNG	Porto Marghera	Procedura autorizzativa in corso; procedimento di VIA concluso con esito positivo	32.000
AdSP del Mar Di Sardegna	TVI Petrolifera	Oristano	Procedura di VIA in corso	9.000
AdSP del Mar Di Sardegna	Consorzio Industriale Provincia Sassari	Porto Torres	Procedura autorizzativa in corso	10.000
AdSP del Mar Di Sardegna	Livorno LNG Terminal	Livorno	Procedura autorizzativa in corso	9.000
AdSP del Mar Tirreno Centrale	In corso di assegnazione	Napoli	Manifestazione di interesse	10.000-20.000
AdSP del Mar di Sicilia Orientale	In corso di assegnazione	Augusta	Manifestazione di interesse	-
AdSP di Gioia Tauro e della Calabria	IONIO Fuels	Crotone	Studio di fattibilità	20.000
AdSP del Mar Ligure Occidentale	GNLMed	Genova	Studio di fattibilità	10.000

✓ **11 depositi** con iter autorizzativo avviato

✓ **Capacity minima: 9.000 mc.**

✓ **Capacity massima: 32.000 mc.**

✓ **Capacity media: 15.000 mc.**

#### News rilevanti:

- **Oristano:** a Santa Giusta sono in corso i primi collaudi. Inizio operazioni a gennaio 2021.
- **Ravenna:** con avvio delle operazioni a ottobre 2021.
- **Porto Torres:** inizio lavori nella seconda metà del 2020.
- **Napoli:** collaborazione Edison – Q8.
- **Crotone:** acquisto terreni su cui sorgerà il terminal e inizio lavori previsto entro fine 2022.

Fonte: *Assocostieri*, 2020 (Progetto TDI RETE-GNL, evento *Bastia*)

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

Source: Satta G. (2020), “GNL per la propulsione in ambito marittimo portuale: verso la definizione di una rete di distribuzione GNL nei porti tra Italia e Francia”, Naples Shipping Week, 1-2 ottobre 2020, Napoli.

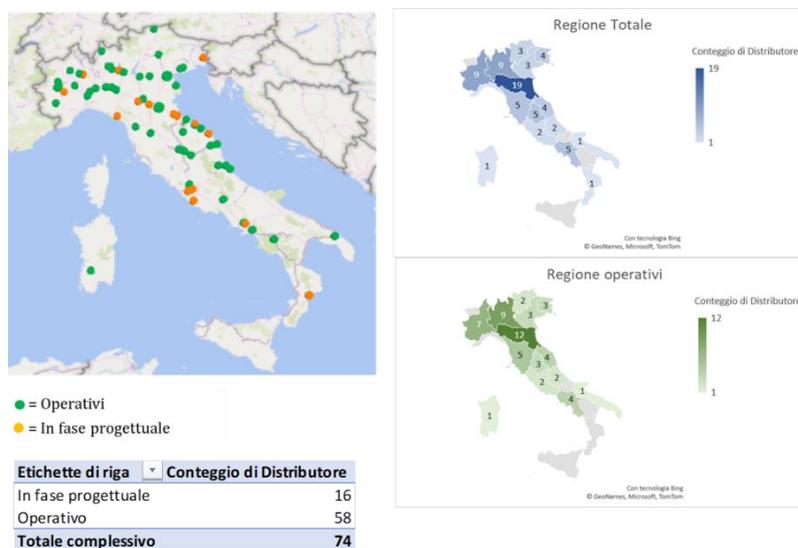
#### 4.4.2.3. Réseau de distribution de méthane liquide GNL pour véhicules lourds

En ce qui concerne l'examen des distributeurs de méthane liquide qui fournissent du carburant aux véhicules lourds, trois niveaux de distribution différents doivent être pris en compte (comme indiqué par Federmetano, 2018):

1. Distributeurs de méthane liquide dans les activités ouvertes au public;
2. Distributeurs de méthane liquide dans des activités ouvertes aux particuliers, avec des conditions d'utilisation particulières;
3. Distributeurs de méthane liquide encore au stade de la planification.

Ce qui ressort en premier lieu, c'est que pour les trois niveaux considérés, la localisation géographique semble fortement biaisée en faveur des régions du nord de l'Italie, tant en ce qui concerne les distributeurs déjà opérationnels que par rapport à ceux qui ouvriront dans les années à venir (Figure 28).

Figure 28. Distributeurs terrestres de GNL et demande de GNL terrestre pour les ports italiens



Source: Satta G. (2020), “GNL per la propulsione in ambito marittimo portuale: verso la definizione di una rete di distribuzione GNL nei porti tra Italia e Francia”, Naples Shipping Week, 1-2 ottobre 2020, Napoli.

#### 4.4.3. Infrastructure de soutage et de stockage de GNL dans les ports de Ligurie

Face à l'incroyable croissance du GNL dans le secteur maritime portuaire en tant que source d'énergie alternative pour la propulsion navale, l'accent mis sur l'infrastructure GNL de la région de la Ligurie a fait prendre conscience d'un fort besoin en équipements infrastructurels pour l'approvisionnement. futurs navires propulsés par le combustible précité, c'est pourquoi certaines entités publiques et privées ont lancé des études de faisabilité en référence aux ports de Gênes, Savone et La Spezia. Cependant, comme aucune des typologies infrastructurelles décrites ci-dessus n'est opérationnelle, la recherche du groupe de travail UNIGE CIELI s'est basée sur les informations fournies par des articles, des sites Web et des actualités en ligne qui ont abouti à l'examen détaillé des hypothèses de projet rapportées dans le Tableau 26 et examinée en détail dans les sous-paragraphe ci-dessous.

Tableau 26. Résumé des hypothèses du projet - Ligurie

Hypothèse de projet	Emplacement	Brève description
Terminal de regazéification de Panigaglia	La Spezia	Géré par GNL Italia (SNAM Group); capacité de regazéification: 4 milliards de m3; structure déjà opérationnelle. Solution de soutage de GNL dans le secteur portuaire maritime: étude de faisabilité. Concernant ce terminal, les hypothèses de conception de réadaptation réalisées respectivement par RINA Consulting et Assocostieri ont également été prises en compte.
Hypothèse de projet par Fratelli Cosulich	La Spezia	Hypothèse développée par Fratelli Cosulich SPA pour la construction d'une usine de stockage et de soutage de GNL (usine SSLNG) en relation avec le port de La Spezia.
Hypothèse de projet d'Ottavio Novella Spa	Porti della Liguria	Hypothèse de conception développée par Ottavio Novella Spa pour la construction d'une usine de stockage et de soutage de GNL (usine SSLNG) dans les ports de Ligurie.
Hypothèse de projet de A.O.C Srl	Genova	Hypothèse de conception développée par l'A.O.C. Srl pour la construction d'une usine de stockage et de regazéification de GNL (usine SSLNG) pour le port de Gênes.

Hypothèse de projet ENI	Genova	Hypothèse de projet développée par la société ENI S.p.a pour la construction d'un terminal de soutage de GNL pour le port de Gênes (zone de Multedo, zone de Porto Petroli).
Hypothèse de projet PIR	Genova	Hypothèse de projet développée par la société italo-roumaine Petrolifera pour la construction d'un terminal de soutage pour le port de Gênes (zone entre le terminal portuaire de Gênes et le terminal Bulk Genoa).
Hypothèse de projet de la station de ravitaillement mobile - Projet LNG FACILE	-	Dans le cadre du projet INTERREG Marittimo ITA-FRA 1420 intitulé GNL FACILE, la construction d'une station de ravitaillement mobile (avec réservoir cryogénique) est prévue, ce qui affecterait plusieurs ports de la Zone d'Objectif du Programme.

Source: notre élaboration.

#### 4.4.3.1. Terminal de regazéification de Panigaglia (La Spezia)

Le terminal de regazéification de Panigaglia voit le démarrage des travaux de construction en 1967 par la société Snam S.p.A suite à l'autorisation obtenue du ministère de l'Environnement. Cette installation, première onshore de réception et de regazéification de GNL en Italie, couvre une superficie d'environ 45 000 m<sup>2</sup> et dispose d'une capacité de stockage de GNL de 88 000 m<sup>3</sup>. Situé dans la zone portuaire de La Spezia, il se compose de:

- Un système d'accueil (zone d'accostage du navire);
- Une zone de stockage comprenant deux réservoirs de 50 000 m<sup>3</sup> chacun constitué de deux conteneurs cylindriques coaxiaux à axe vertical et d'une capacité utile de 44 000 m<sup>3</sup>;
- Un regazéificateur dans lequel le gaz est extrait des réservoirs de stockage et envoyé aux échangeurs de chaleur par un système de pompes centrifuges;
- Systèmes d'injection de réseau;
- Systèmes et équipements de récupération des vapeurs;
- L'ensemble des systèmes de sécurité auxiliaires..

La capacité de regazéification est égale à 3,5 milliards de m<sup>3</sup> / an et le fonctionnement opérationnel du mécanisme de gestion de l'usine nécessite que seule une petite partie du GNL présent soit utilisée pour l'usine elle-même, puisque le gaz atteint la structure par Des méthaniers déchargeant du GNL dans des réservoirs de stockage. En ce qui concerne le type de postes d'amarrage dédiés aux opérations de chargement / déchargement de GNL, le terminal examiné ici comprend également une jetée située à l'intérieur du port qui permet la réception de navires d'une capacité maximale d'environ 70000 m<sup>3</sup> de GNL et d'un tirant d'eau de 10 m. Les principales critiques du terminal de Panigaglia semblent être l'accessibilité routière et ferroviaire, notamment en ce qui concerne la difficulté de traverser des véhicules venant de directions opposées ainsi que la proximité du centre-ville à environ 2,7 km du terminal.

Suite à la préparation du produit T2.1.3, des avancées importantes ont été réalisées en ce qui concerne les opérations de soutage / stockage de GNL. En effet, le dimanche 25 octobre, le premier soutage de GNL pour le navire de croisière Costa Smeralda aura lieu directement dans le port de La Spezia.

#### 4.4.3.2. Hypothèse de projet par Fratelli Cosulich

La société F.lli Cosulich S.p.A, en la personne du Président Andrea Cosulich, a donné au groupe de travail UNIGE CIELI l'opportunité de collecter des données importantes relatives à la région de la Ligurie. Le projet en cours d'évaluation par la société susmentionnée prévoit le développement des infrastructures nécessaires au SSLNG (barge de soutage de GNL et gisement côtier) avec un intérêt



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



dans la région de la mer Tyrrhénienne du Nord et en particulier, les ports liguriens de La Spezia, Gênes et Savone et le port toscan de Livourne. En pratique, l'idée derrière ce projet est basée sur le transfert de GNL des grands terminaux de stockage (comme FSRU Toscana) vers les dépôts côtiers (comme celui de Panigaglia), puis de procéder à la réalisation d'opérations de ravitaillement vers les navires avec barges ; de plus, une petite usine de stockage terrestre (d'une capacité inférieure à 200 tonnes) donnerait alors la possibilité de charger des camions-citernes.

L'investissement global requis pour la construction du système décrit ci-dessus est de 55 millions d'euros tandis que les coûts d'exploitation annuels de gestion s'élèveraient à environ 4 millions d'euros, y compris également les interventions de maintenance possibles / nécessaires. Enfin, la particularité de ce projet réside dans les estimations faites sur le prix des services de soutage de GNL ainsi que sur les coûts moyens de gestion de l'approvisionnement et du stockage du carburant qui ont conduit à une fourchette de prix dépendante du marché. et égal à 3/4 € / MWh avec des coûts relatifs uniquement au stockage du GNL 2/3 € / MWh.

#### 4.4.3.3. Hypothèse de projet par Ottavio Novella Spa

L'étude de faisabilité réalisée par la société Ottavio Novella SpA a porté sur la possibilité de créer des infrastructures dédiées au soutage et au stockage de GNL dans le contexte territorial de l'Autorité du système portuaire de la mer Ligure occidentale sans exclure pour autant tout développement au sein de la AdSP de la mer Ligure orientale. Les zones de construction de l'infrastructure en question ont été identifiées dans la jetée du brise-lames de Vado Ligure (qui va bientôt subir des interventions d'agrandissement), Gênes Sestri et / ou Sampierdarena et La Spezia, avec utilisation d'une partie des gisements côtiers actuellement présents à Panigaglia. Dans ce cas, l'approvisionnement en GNL se ferait par voie maritime et son approvisionnement serait dédié à la fois à la demande future de navires alimentés au GNL et à la demande déjà présente de pétroliers. Le processus d'autorisation prévoyait la soumission du projet aux AdSP de la mer Ligure occidentale et orientale et à l'Agence des douanes (en ce qui concerne le type de documentation nécessaire pour remplir les obligations documentaires) et est toujours en attente d'évaluation. Le processus de construction doit avoir une durée comprise entre 24 et 30 mois, divisée en plusieurs phases modulaires listées ci-dessous:

- La première phase consisterait à préparer uniquement le transporteur de gaz à petite échelle, qui remplirait les fonctions de ravitailleur et de barge;
- La deuxième phase consisterait à placer à côté une ou plusieurs barges flottantes non automotrices;
- La troisième phase conduirait à la construction de dépôts fixes au sol (avec axe horizontal ou vertical).

Au terme de ce processus, caractérisé par des CAPEX d'environ 65 à 75 millions d'euros et des coûts d'exploitation annuels compris entre 5,9 et 6,5 millions d'euros, l'infrastructure pourrait avoir une capacité totale d'environ 20 000 m<sup>3</sup>. D'un point de vue opérationnel, l'utilisation de la technologie Ship to Ship (STS) est envisagée qui permettrait l'acquisition par voie maritime et terrestre à partir de grands terminaux (tels que Snam di Panigaglia ou ceux présents à Marseille et Barcelone) via un Small Les échelles méthaniers qui, ayant atteint le mouillage qui leur est assigné, serviront dans un premier temps de gisement flottant. Le quai qui devrait être dédié à ces opérations a une longueur d'environ 140 mètres et un tirant d'eau de 5,90 mètres, contre lesquels il sera possible de ravitailler environ 50/100 paquebots par an en 4/5 heures chacun (ravitaillements de 2,200 m<sup>3</sup>), 500 navires rouliers avec approvisionnement de 3 heures chacun (à partir de 500 m<sup>3</sup>) et 100 porte-conteneurs en 4/5 heures (1500 m<sup>3</sup>).



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



#### *4.4.3.4. Hypothèse de projet par A.O.C Srl*

A.O.C. Srl est un concessionnaire de services de collecte et de traitement des déchets qui a construit une usine de GNL dans la zone de Calata Oli Minerali destinée à un usage interne et équipée d'une zone de stockage relative, c'est pourquoi elle a également émis l'hypothèse de son utilisation pour ravitaillement de bateaux de plaisance à l'intérieur du port de Gênes. Cette usine, actuellement opérationnelle, occupe une superficie de 100 m<sup>2</sup> au sein du port et a une capacité de stockage de 60 m<sup>3</sup>; cependant, aucun investissement n'a été prévu pour permettre l'offre d'un service de soutage. En ce qui concerne la zone opérationnelle, l'usine est alimentée en GNL par voie maritime, et le contrôle des procédures de remplissage et de vidange du réservoir se fait par télédétection qui organise l'envoi de camions-citernes pour remplir le gisement. Dans ce cas particulier, des restrictions ont été imposées aux opérations de remplissage du réservoir cryogénique pour assurer un niveau optimal de sûreté et de sécurité, ainsi que la rédaction de projets de prévention incendie relatifs aux usines de distribution de type L-LNG, L-CNG E L-CNG / LNG pour le transport. La principale criticité connue se réfère à l'extrême proximité de la ville (moins de 1.100 mètres); tandis que l'un des points forts réside dans l'accessibilité autoroutière et ferroviaire puisque l'usine se trouve respectivement à des distances de 1000 mètres et 500 mètres des principales liaisons.

#### *4.4.3.5. Hypothèse de projet par ENI*

En utilisant la méthodologie de recherche en ligne décrite ci-dessus, une étude de faisabilité a ensuite été identifiée relative à la construction d'un terminal de soutage de GNL dans la zone portuaire génoise (plus précisément dans la zone de Porto Petroli) réalisée par le groupe Eni avec des coûts investissement de 15 millions d'euros pour assurer l'adaptation des usines. Cependant, cette solution particulière est difficile à mettre en œuvre en raison de la proximité de l'usine Fincantieri et du plan associé qui prévoit son extension, en raison de la forte proximité avec la zone habitée et des difficultés d'adaptabilité de la zone touchée par l'intervention.

#### *4.4.3.6. Hypothèse de projet par PIR*

Le groupe PIR (Petrolifera Italo Rumena) a manifesté son intérêt pour la construction d'un terminal de soutage de GNL dans la zone située entre le terminal portuaire de Gênes et le terminal vrac de Gênes. Concrètement, le projet prévoit la relocalisation des gisements actuellement situés dans la zone de Multedo (suite au déblocage d'une concession spécifique à l'AdSP) contre un investissement de 40 M € pour la construction de nouveaux gisements.

#### *4.4.3.7. Hypothèse de projet d'une station de ravitaillement mobile – Projet GNL FACILE*

Suite à la construction d'une station de ravitaillement en GNL, l'un des principaux objectifs du projet Interreg Marittimo ITA-FRA 1420 «GNL FACILE», l'Autorité du système de la mer de Ligurie occidentale a émis l'hypothèse d'un développement possible des équipements de manutention (comme les sellettes d'attelage, les grues, les piqueurs à mât rétractable, les locomotives) alimentés au GNL. En particulier, le projet précité prévoit la construction d'une station de ravitaillement et d'un réservoir de distribution cryogénique qui permettront de ravitailler les véhicules pour le transport routier lourd et pour tout véhicule opérationnel à l'intérieur de la zone portuaire, ainsi que de petits bateaux de plaisance. au GNL.

#### *4.4.3.8. Hypothèse de projet à Savona-Vado Ligure*

Bien qu'il existe de nombreuses hypothèses liées à la zone portuaire de Gênes, il est nécessaire de discuter brièvement de certains profils liés au GNL au sein du port de Savone - Vado Ligure, en particulier compte tenu de l'importance de la même chose dans le secteur des croisières. En particulier,

le 3 novembre 2019, la cérémonie de baptême du nouveau navire Costa Smeralda, premier navire de croisière propulsé à la fois au port et au large au GNL, a été célébrée directement dans le port de Savone. C'est précisément pour cette raison, et compte tenu de la concession prolongée jusqu'en 2044 en faveur de Costa Croisières pour l'utilisation des espaces et des services du port de Savone, celle-ci doit s'adapter autant que possible à la nouvelle réalité et prévoir la construction d'infrastructures qui permettent le soutage de gaz naturel liquéfié pour ravitailler les navires arrivant dans le port.

#### 4.4.4. Infrastructure de soutage et de stockage de GNL dans les ports de la Toscane

En ce qui concerne les infrastructures de la Toscane relatives à la chaîne logistique GNL, la cartographie impliquait trois hypothèses différentes, déjà opérationnelles, autorisées ou en cours d'autorisation. En particulier, le Tableau 27 rapporte les hypothèses prises en considération, pour lesquelles une brève description est faite dans les paragraphes suivants.

Tableau 27. Résumé des hypothèses de projet - Toscana

Hypothèse de projet	Emplacement	Brève description
FSRU Toscana	Livorno	Géré par OLT Offshore LNG Toscana; capacité de regazéification: 3,75 milliards de m <sup>3</sup> ; structure déjà opérationnelle. Solution de soutage de GNL dans le secteur portuaire maritime: étude de faisabilité.
Dépôt côtier (Signal)	Livorno	Capacité de stockage: 20 000 m <sup>3</sup> ; autorisation non encore soumise.
Hypothèse du projet Coastal GAS Livorno and Neri Vulcanigas Investimenti	Livorno	Géré par Costiero GAS Livorno et Neri Vulcanigas Investimenti; capacité de stockage: 9 000 m <sup>3</sup> ; autorisation non encore soumise.

Source: notre élaboration.

##### 4.4.4.1. FSRU Toscana (OLT Offshore LNG Toscana)

L'usine de regazéification en mer FSRU Toscana gérée par OLT Offshore LNG Toscana est déjà opérationnelle en Toscane, avec une capacité de regazéification de 3,75 milliards de m<sup>3</sup> et amarrée à environ 22 km de la côte. Le projet a abouti à la conversion du méthanier «Golar Frost» en terminal flottant de regazéification, suite à un processus d'autorisation long et complexe qui n'a permis de commencer les travaux de construction qu'en décembre 2009. D'un point de vue technique - opérationnel, le FSRU toscan est ancré au fond de la mer à une profondeur d'environ 120 mètres grâce à 6 lignes d'ancrage installées sur place et reliées au pipeline sous-marin pour le transport terrestre de GNL regazéifié. Actuellement, suite à une demande adressée au ministère de l'Environnement, l'OLT a obtenu l'autorisation nécessaire pour augmenter la limite de capacité des navires pouvant s'approcher du terminal en question jusqu'à 180.000 m<sup>3</sup>, en maintenant la capacité annuelle maximale de regazéification autorisée à 3,75 milliards de m<sup>3</sup> de gaz et organisé un projet d'adaptation des infrastructures pour l'approvisionnement primaire de la chaîne SSLNG pour le chargement de petits méthaniers (jusqu'à 90-120 m de longueur).

Pour mettre en œuvre le service de soutage, certaines interventions infrastructurelles importantes sont nécessaires, telles que:

- Système d'amarrage pour une approche sûre du SSLNGC sur le côté gauche (bâbord) du terminal FSRU;



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



- Modification du système de transfert de GNL existant (côté gauche) du terminal FSRU au SSLNGC.

Le CAPEX de ces interventions est estimé à environ 5 millions d'euros, tandis que les frais de fonctionnement ne s'élèvent qu'à 1 million d'euros. D'un point de vue opérationnel, la technologie la plus adaptée à ce type d'intervention est Ship-to-Ship, c'est pourquoi l'approvisionnement en GNL se fera uniquement par voie maritime avec la réception du carburant des méthaniers et le chargement ultérieur sur le SSLNGC, qui ils pourront à leur tour approvisionner directement les navires alimentés au GNL ou les acheminer vers les dépôts côtiers. Enfin, le GNL stocké dans les dépôts côtiers peut être utilisé pour ravitailler à la fois les pétroliers pour la distribution terrestre et les bateaux alimentés au GNL.

Enfin, en ce qui concerne la sécurité, OLT a décidé de prendre comme référence les normes internationales des méthaniers de grande taille, donc les SSLNGC doivent également se conformer aux normes OCIMF (Oil Companies International Marine Forum), et en particulier pour le couplage "manifold" il sera nécessaire d'équiper des systèmes électroniques de sécurité (SES) conformes aux normes internationales SIGTTO.

#### 4.4.4.2. Dépôt côtier de Livourne (Signal)

En réponse à l'administration du questionnaire décrit dans le chapitre précédent, l'AdSP de la mer Tyrrhénienne septentrionale a communiqué la réalisation d'une analyse des alternatives possibles pour la construction d'un gisement côtier dans le port de Livourne dans le cadre du projet Interreg Italia Francia Marittimo Signal. (Stratégies transfrontalières de valorisation du gaz naturel liquéfié). Bien que l'emplacement précis de l'infrastructure n'ait pas encore été choisi, l'hypothèse du projet la concernant a été configurée, qui aura une taille de terminal de 30000 m<sup>2</sup>, une capacité totale de l'usine de 20000 m<sup>3</sup> et un volume annuel potentiel de traitement une fois pleinement opérationnel. de 730 000 m<sup>3</sup>. En ce qui concerne la solution technologique la plus adaptée à cette situation, deux types particuliers sont en cours d'analyse:

- Truck to Ship: caractérisé par l'utilisation de réservoirs mobiles équipés de pompes cryogéniques immergées pour ravitailler les navires amarrés sur le quai;
- Ship to Ship: caractérisé par l'utilisation de barges équipées de deux bras mécaniques: un pour la livraison de GNL et un pour le retour du *boil-off*.

Le ravitaillement se fera donc aussi bien par voie maritime que terrestre, sous réserve des problèmes liés à la courte distance de la ville (environ 2.000 m) et au manque de proximité d'un point de ravitaillement en fret routier (qui est à 25 km du port).

#### 4.4.4.3. Hypothèse de projet de Costiero GAS Livorno et Neri Vulcanigas Investimenti

Début 2018, le terminal newco Livorno Lng a été créé, propriété de la société Costiero Gas Livorno et de Neri Vulcanigas Investimenti, dans le but de créer un dépôt côtier à l'intérieur du port de Livourne afin de permettre la réception et Stockage de GNL. L'approvisionnement s'effectuera notamment par camions-citernes et sera ensuite distribué dans le réseau interne par camions-citernes et barges pour alimenter les stations-service routier et les futurs navires au GNL en transit dans le port de Livourne. Son emplacement est prévu dans une position stratégique au sein du port et plus précisément entre les postes 12 et 13, désormais utilisés pour le stockage de latex de caoutchouc pour la société Neri.

Les caractéristiques techniques du gisement montrent une capacité de stockage initiale estimée à environ 4 500 m<sup>3</sup> qui pourrait atteindre 9 000 m<sup>3</sup> dans une seconde phase; tandis que les CAPEX

s'élèvent à environ 50 millions d'euros qui peuvent être cofinancés dans le cadre du programme Gainn4Sea par la Commission européenne.

#### ***4.4.5. Infrastructure de soutage et de stockage de GNL dans les ports de Sardaigne***

En référence à l'île de Sardaigne, le processus de cartographie des infrastructures liées à la chaîne logistique GNL a conduit à la définition de 5 interventions différentes à considérer (Tableau 28). À cet égard, le grand engagement de la région dans la préparation des systèmes d'offre de soutage dans le contexte maritime portuaire a été noté avec des accords extrêmement importants comme celui stipulé entre Assocostieri et l'AdSP de Sardaigne visant à approfondir les enjeux stratégiques, politiques, juridiques et administratifs liés à l'utilisation du GNL comme carburant marin.

A cet effet, dans le cadre des activités liées à la préparation du produit T2.1.3, le partenaire UNICA-CIREM a également mené des activités de recherche en ligne sur les futurs systèmes d'approvisionnement pour le stockage et le soutage de GNL dans les ports de leur zone. référence, c'est-à-dire la Sardaigne, présente dans la zone cible du projet. En particulier, les futures infrastructures et les études de faisabilité prévues dans les ports de Cagliari, Oristano et Porto Torres ont été analysées en détail.

Tableau 28. Résumé des hypothèses de projet - Sardaigne

Hypothèses de projet	Emplacement	Brève description
Dépôt côtier "Terminal Higas di Oristano"	Oristano	L'usine vise à recevoir le GNL de méthaniers de taille moyenne appropriés, le décharger dans l'objet de stockage de l'initiative pour être ensuite utilisé, principalement sous forme liquide, comme carburant à usage industriel, terrestre et partiellement comme gaz (GN) à distribuer dans les réseaux de canalisations déjà partiellement existants dans la zone concernée. Du point de vue du dimensionnement, l'usine a une taille de terminal de 16 000 m <sup>2</sup> et offre une capacité totale de stockage de 9 079 m <sup>3</sup> . La capacité de manutention annuelle maximale attendue est de 350000 m <sup>3</sup> en 2020.
Dépôt côtier "Marine Terminal Oristano"	Oristano	À l'initiative d'Edison, le projet porte sur la construction d'un dépôt de GNL côtier caractérisé par une partie terrestre de 76 000 m <sup>2</sup> et 4 500 m <sup>2</sup> en mer. L'usine offre une capacité de stockage totale de 10000 m <sup>3</sup> et une capacité de stockage nominale annuelle attendue de 520 000 m <sup>3</sup> en 2020.
Gisement côtier de IVI Petrolifera	Oristano	Le projet implique la mise en place d'une chaîne d'approvisionnement qui comprend l'approvisionnement en GNL par pétroliers, le stockage dans l'usine et la distribution ultérieure par voie terrestre par pétroliers et par mer par bateau (barges). Du point de vue de la taille de l'infrastructure, la taille prévue du terminal est de 30 000 m <sup>2</sup> , permettra un stockage volumétrique d'environ 9 000 m <sup>3</sup> et la quantité annuelle manutentionnée sera égale à un maximum de 60 000 m <sup>3</sup> de GNL.
Stockage côtier des Multiutilités ISGAS ENERGIT	Cagliari	Le projet envisagé vise à créer un terminal pour le gaz naturel liquéfié dans le port de Cagliari, qui peut garantir aux utilisateurs civils et industriels en Sardaigne la possibilité d'utiliser le gaz comme source d'énergie alternative et qui peut représenter un pôle important dans la zone méditerranéenne pour le soutage de navires au GNL. Le projet a été autorisé par le Ministère de l'Environnement et le responsable et réalisateur est représenté par la société ISGAS ENERGIT MULTIUTILITIES S.P.A. les travaux n'ont pas encore commencé, mais le terminal devrait être terminé en 2020.
Entrepôt côtier du consortium industriel de la province de Sassari	Porto Torres	Parallèlement au feu vert pour la construction d'une usine de réception et de destruction de GNL dans la zone portuaire d'Oristano, en juillet 2018, le processus de création d'une autre infrastructure GNL à Porto Torres a été lancé grâce à l'avis favorable du Comité de gestion de l'Autorité du système portuaire maritime de Sardaigne. Le CIP (Provincial Industrial Consortium) de Sassari a renouvelé son avis favorable sur le projet et a déjà acquis le projet de faisabilité technico-économique, le rapport préliminaire de sûreté, l'évaluation environnementale stratégique et le financement du ministère du Développement économique pour la fourniture et l'installation de trois bras de chargement et de déchargement.

Source: notre élaboration.



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



#### 4.4.5.1. Dépôt côtier “Terminal Higas di Oristano” de Higas

Le terminal Oristano Higas est une installation de stockage de GNL sous la construction de la société Higas Srl depuis 2018. Il vise à recevoir du GNL de méthaniers de taille moyenne afin de le décharger dans l'objet de stockage de l'initiative d'être utilisé par la suite comme combustible à usage industriel, terrestre et partiellement comme gaz (GN) à distribuer dans les réseaux de gazoducs déjà partiellement présents dans la zone étudiée. Du point de vue des spécifications techniques, l'usine se caractérise par une taille de 16 000 m<sup>2</sup> et une capacité totale de stockage de 9 079 m<sup>3</sup>.

Son fonctionnement opérationnel consiste à charger l'usine à travers un réservoir de GNL de petite taille (d'une capacité comprise entre 5 000 et 7 000 m<sup>3</sup>) afin de produire des sorties pour les utilités de liquides et de gaz. En particulier:

- Des liquides tels que le chargement de GNL dans des pétroliers pour un transport capillaire ultérieur par route et le chargement de GNL sur un navire de soutage pour finaliser son utilisation comme carburant naval;
- Gaz: GN aux utilisateurs finaux de la zone industrielle et aux utilisateurs civils potentiels d'Oristano avec des barges de 1 000 m<sup>3</sup> et une solution technologique Ship to Ship (STS).

En ce qui concerne le profil Sûreté & Sécurité, la centrale est équipée d'un système de sécurité de type ESD «fail safe» qui identifie, signale, prévient et gère les conditions dangereuses et / ou d'urgence de manière totalement autonome et par défaut afin de restaurer les conditions de sécurité du système. De plus, les postes d'amarrage pour l'avitaillement seront au large, tandis que le déchargement / chargement du GNL se fera à l'intérieur du port sur un quai d'une longueur de 200 mètres et d'un tirant d'eau de 10 mètres. L'examen des criticités liées à la distance du centre habité a révélé une proximité avec la ville d'Oristano, située à une distance minimale d'environ 3,1 km au nord-est et de Santa Giusta, située à environ 3,5 km à l'est; tandis qu'en termes d'accessibilité, la distance du tissu routier est d'environ 5 km et celle de la ligne de chemin de fer Cagliari-Golfo Aranci Marittima est de 6 km.

#### 4.4.5.2. Dépôt côtier “Marine Terminal Oristano” de Edison

Le dépôt côtier conçu par Edison SpA est destiné à des usages multiples (civil, industriel, soutage) et prévoit l'achèvement des travaux en 2020. Le dimensionnement de celui-ci verra une partie sur un terrain d'environ 76000 m<sup>2</sup> et une partie mer de 4500 m<sup>2</sup> capacité totale de 10 000 m<sup>3</sup>. Il sera divisé en domaines fonctionnels de:

- Amarrage et transfert de GNL (longueur totale de 185 mètres);
- Stockage de gaz naturel liquéfié;
- Contrôle pour la surveillance et la gestion du gisement côtier;
- Chargement des pétroliers.

La phase d'approvisionnement sera réalisée au moyen de petits camions-citernes à gaz ou de pétroliers aux caractéristiques similaires à celles actuellement utilisées et d'une capacité comprise entre 7500 et 15 600 m<sup>3</sup>, tandis que la distribution du GNL se fera par voie maritime par barges. Compte tenu des conditions d'exploitation de l'usine, la solution technologique la plus efficace dans le cadre des opérations de ravitaillement des navires est Ship to Ship (STS); tandis qu'en ce qui concerne le profil de sûreté et de sécurité, un système ESD a été identifié comme le plus fonctionnel qui aidera le système de contrôle distribué (SCD) à intervenir en cas de dysfonctionnement ou d'erreur de fonctionnement, garantissant la sécurité de l'usine. Par ailleurs, également dans cette hypothèse, l'usine sera équipée d'un système de détection de gaz, d'incendie, de fuite, d'un système d'alarme visant à minimiser les risques



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



et dommages liés aux fuites de gaz et aux incendies et d'un système de décompression. d'urgence, qui remplira les fonctions de garantir l'intégrité du confinement du réservoir impliqué dans l'événement et des deux réservoirs adjacents.

Compte tenu uniquement des fonctions de soutage, il convient de préciser que les postes d'amarrage seront au large; tandis qu'en ce qui concerne les opérations de chargement / déchargement de gaz à l'usine, elles seront localisées sur le quai à l'intérieur du port (d'une longueur de 185 mètres et d'un tirant d'eau de 11 mètres). Le centre habité le plus proche de la zone identifiée est la ville d'Oristano située à environ 3,1 km au nord-est. Enfin, un bon niveau d'accessibilité est garanti pour la fourniture du terminal aux véhicules de transport routier (dont la superficie n'est qu'à 1 km de la porte du port); tandis que la ligne de chemin de fer la plus proche, Cagliari-Golfo Aranci Marittima, est à 6 km.

#### *4.4.5.3. Dépôt côtier de IVI Petrolifera*

Le projet esquissé par IVI Petrolifera prend la forme de la mise en place d'une chaîne d'approvisionnement qui comprend l'approvisionnement en GNL par pétroliers, le stockage en usine et la distribution ultérieure par voie terrestre par pétroliers et par mer par bateau (barges). La taille attendue est de 30 000 m<sup>2</sup>, ce qui entraînera une quantité annuelle manutentionnée allant jusqu'à 60 000 m<sup>3</sup> de GNL. La phase d'approvisionnement verra l'utilisation de petits transporteurs de gaz, tandis que la distribution se fera par des pétroliers d'une capacité d'environ 50 m<sup>3</sup> et par des barges d'une capacité de 500 m<sup>3</sup>, tandis que la technologie de soutage utilisée sera Ship to Ship. (STS), qui prévoit le ravitaillement du navire alimenté au GNL par l'utilisation d'une barge ou d'un autre type de navire qui flanquera le navire à ravitailler. Le transfert de GNL se fera ensuite à travers un bras de chargement de la phase liquide caractérisé par un diamètre de 8 ", tandis que le chargement des barges impliquera 3 pompes de surpression. Le chargement de GNL sur des pétroliers a également impliqué la mise à disposition de 2 quais de chargement alimentés par l'une des trois pompes de transfert.

Dans ce cas également, il y a une division en zones fonctionnelles comme suit:

- Une zone d'amarrage et de transfert de GNL;
- Une zone de stockage de GNL;
- Une zone de chargement pour les pétroliers.

Les exigences essentielles relatives au profil Sûreté & Sécurité seront réalisées au moyen de dispositifs de libération rapide pour les bras de déchargement, de systèmes de contrôle pour le chargement de GNL dans le réservoir, ainsi que par l'adoption de matériaux adaptés au service cryogénique. L'usine sera équipée d'un système d'arrêt d'urgence ESD et de différents types de détecteurs de flamme, de gaz et de température (haute et basse).

De plus, le type de postes d'amarrage destiné au soutage du GNL sera offshore, tandis que le déchargement et le chargement du GNL des méthaniers vers l'infrastructure utiliseront un espace de quai à l'intérieur du port (d'une longueur de 190 mètres et d'un tirant d'eau autorisé de 11, 5 mètres). Enfin, les principales critiques à noter concernent la proximité de la ville d'Oristano à environ 3,1 km au nord-est, l'impossibilité d'utiliser la technologie Truck to Ship (TTS) en raison du contexte d'accessibilité routière et de l'éloignement réseau ferroviaire d'environ 6 km. En revanche, la courte distance entre les zones d'accostage et l'emplacement des gisements, égale à environ 800 mètres, était positive.

#### *4.4.5.4. Cagliari*

La construction d'un terminal GNL à usages multiples est prévue dans la zone du port de Canale de Cagliari dans le but de garantir aux utilisateurs civils et industriels en Sardaigne la possibilité d'utiliser

le gaz comme source d'énergie alternative. Ce projet a été autorisé par le Ministère de l'Environnement et sera développé par la société ISGAS ENERGIT MULTIUTILITIES S.P.A. avec l'achèvement des travaux prévu en 2020.

En ce qui concerne la taille de l'usine, les prévisions prévoient une extension d'environ 69 500 m<sup>2</sup> pour une capacité totale de stockage de 22 068 m<sup>3</sup>.

La fourniture de ceux-ci sera réalisée avec de petits transporteurs de gaz et l'ensemble de l'usine de regazéification alimentera non seulement les navires alimentés au GNL, mais également les réseaux de distribution déjà existants à Cagliari. Dans ce cas précis, les solutions technologiques qui peuvent être adoptées sont le TTS, le STS et le Port to Ship (PTS) également appelé Terminal to Ship dans lequel le gaz naturel liquéfié est transféré directement depuis une petite unité de stockage, une petite station ou un terminal. d'importation ou d'exportation vers le navire alimenté au GNL. D'un point de vue opérationnel, le projet a esquissé des procédures qui prévoient l'arrivée de petits transporteurs de gaz qui amarreront au quai dédié, et qui transféreront le GNL vers les réservoirs via des bras de chargement avec la possibilité d'effectuer les opérations de chargement simultanément les pétroliers et ceux pour le déchargement des méthaniers ou le soutage.

La configuration du terminal est ensuite divisée en sept macro-zones correspondant à :

- Une zone de chargement et de déchargement de gaz naturel liquéfié;
- Une zone de stockage et de pompage de GNL;
- Un espace accueillant les vaporisateurs;
- Une zone servant de quais de chargement pour les pétroliers;
- Une zone où s'effectue la gestion de l'ébullition des gaz (BOG);
- Une zone de torche;
- Un espace dédié à la filtration, la mesure et l'odorisation du méthane.

Dans ce cas également, un système d'arrêt d'urgence ESD et un système de contrôle distribué DCS sont préférés avec un système de décompression d'urgence automatique. Il convient également de préciser que le type de couchettes est représenté par le quai dans le port, ou, pour assurer l'avitaillement des navires à tirant d'eau plus élevé, la possibilité d'un ravitaillement en mer.

La distance de la ville de Cagliari est d'environ 2 km, tandis qu'une accessibilité adéquate est garantie à une distance avec la porte du port d'environ 1,4 km du point d'amarrage pour l'avitaillement naval. L'accessibilité bénéficie des avantages liés à la courte distance du réseau routier principal (SS 195) et de la gare de Cagliari.

#### *4.4.5.5. Porto Torres*

En 2018, le processus de conception et de construction ultérieure d'une infrastructure pour le GNL à Porto Torres a été lancé grâce à l'avis favorable du comité de gestion de l'autorité du système portuaire de la mer de Sardaigne. Les opérations nécessaires sont à la charge du Consortium Industriel Provincial (CIP) de Sassari qui a renouvelé son avis favorable sur le projet et a déjà acquis la documentation disponible. Grâce également aux informations rapportées dans le questionnaire rempli par l'Autorité du système portuaire de la mer de Sardaigne, d'autres données importantes ont été collectées pour compléter l'analyse dédiée au projet, telles que la disponibilité de l'Autorité portuaire d'Olbia et de Golfo Aranci dans le cadre de celui-ci. qui a reçu un avis favorable pour la concession de propriété de l'Etat maritime des autorités compétentes.

#### *4.4.6. Les infrastructures GNL en France: l'état de l'art*



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Suite à l'examen de l'état de l'art des infrastructures GNL présentes ou prévues en Italie, il est apparu nécessaire de réaliser les mêmes opérations pour les autres zones du projet dont la France. En particulier, la Chambre de Commerce et d'Industrie du Var, partenaire du projet, a activé des activités de recherche dans sa zone de référence, la Région PACA (Provence-Alpes-Côte d'Azur), afin d'identifier les infrastructures existantes et les hypothèses de conception pour le soutage et le stockage de GNL dans le contexte maritime portuaire. A cet effet, le partenaire du projet a procédé à la réalisation de la cartographie des projets en France, identifiant à la fois les terminaux existants et ceux en construction / en phase de conception. Cette étude a mis en évidence la présence de 4 terminaux dédiés au GNL déjà opérationnels (dans la région PACA, à Dunkerque et Montoir). Les activités de recherche en ligne ont été soutenues par des enquêtes directes via des contacts téléphoniques avec le principal port et les chefs de projet.

#### ***4.4.7. Infrastructure de soutage et de stockage de GNL dans les ports de la région PACA***

##### ***4.4.7.1. Terminal méthanier de Fos-Tonkin***

Le démarrage des opérations de construction du Terminal méthanier de Fos-Tonkin remonte à 1972 grâce à une collaboration avec l'Algérie, dans le but de recevoir en grande quantité le gaz algérien qui alimente les régions du centre de la France et la région de Paris. L'usine est désormais opérationnelle, elle est gérée par la société Elengy, et, sur la base de l'accord signé par les deux nations, les navires algériens déchargent le GNL dans le port de Fos-sur-Mer par les amarres du quai à l'intérieur du port. Le dimensionnement de l'infrastructure est tel qu'il présente une capacité totale de stockage de 150000 m<sup>3</sup> à travers les 3 réservoirs existants, et afin de répondre à la demande croissante, il s'est doté d'un deuxième quai de chargement en fonctionnement depuis avril 2019 qui lui permet d'offrir 34 emplacements de chargement par jour et une capacité de près de 9 000 chargements par an. En ce qui concerne les éventuelles critiques opérationnelles, il est à noter que cette infrastructure ne présente pas de problèmes particuliers d'accessibilité routière, ni de risques élevés liés à la proximité de la ville (à 6 km). Enfin, il convient de préciser que le terminal est idéalement positionné comme base d'une plateforme multimodale de transport de GNL (rail, route, fleuve, mer) sans difficultés particulières et s'intègre pleinement dans le contexte local.

##### ***4.4.7.2. Terminal méthanier de Fos-Cavaou***

Le Terminal méthanier de Fos-Cavaou est devenu opérationnel en 2010, appartient à la société Fosmax LNG et est géré par la société Elengy. Les caractéristiques techniques du terminal mettent en évidence la possibilité d'accoster des navires de 15 000 m<sup>3</sup> à 267 000 m<sup>3</sup> (dit Q-Max), contrairement au terminal précédent qui arrête ses capacités à 75 000 m<sup>3</sup>. La capacité de regazéification est de 8,25 milliards de m<sup>3</sup> de gaz par an, garantissant près de 20% des besoins en gaz naturel liquéfié en France. Compte tenu du besoin croissant, les sociétés qui gèrent le terminal précité ont décidé de procéder à son adaptation à la performance des services d'avitaillement à petite échelle réalisés grâce à la technologie Ship to Ship (STS) pour un investissement d'environ 3 millions d'euros. euro, qui adaptera les bras de chargement pour permettre la connexion de navires plus petits et prévoira les adaptations infrastructurelles qui en découleront. Grâce à l'adaptation susmentionnée, une innovation significative peut être introduite liée à la possibilité de développer une logistique GNL particulière afin de desservir les ferries dans un premier temps, et, par la suite, les navires de croisière, les ferries eux-mêmes et conteneur en construisant une ou plusieurs barges.

L'une des principales critiques du terminal en question réside dans sa proximité avec la ville de Fos-sur-Mer qui n'est qu'à 5 km; tandis que l'accessibilité routière est garantie par la route nationale proche N568 qui relie la route nationale N113 à l'autoroute A55, garantissant un haut niveau d'accessibilité au terminal pour le ravitaillement en gaz naturel liquéfié par route.

#### *4.4.7.3. Toulon*

Dans la zone ouest du port de Toulon, se situe le site de La Seyne Brégaillon, principalement dédié au trafic Ro-Ro et composé de deux terminaux et d'une zone industrielle et technologique. Cette infrastructure bénéficie d'une excellente accessibilité routière et ferroviaire car elle offre un accès ferroviaire direct au port; aspects extrêmement positifs compte tenu de l'existence d'un projet de construction d'une infrastructure dédiée au soutage et au stockage du GNL au Terminal Commerce de Brégaillon dont les travaux devraient se développer sur l'horizon temporel entre 2021 et 2026.

#### *4.4.8. Infrastructure de soutage et de stockage de GNL dans les ports corses*

Comme dans le cas français, également pour l'examen des principales infrastructures GNL en Corse, le partenaire du projet correspondant, l'Office des Transports de la Corse, a collecté des informations relatives au développement du GNL comme carburant alternatif en zone maritime-portuaire. Cette région, afin de maintenir son attractivité et sa position concurrentielle dans la zone méditerranéenne, devra s'adapter au besoin croissant d'infrastructures pour les opérations de soutage et de stockage de GNL. De nombreux armateurs opérant en Corse, en effet, mettent en service des navires qui seront propulsés au GNL et, en particulier, deux des principales entreprises corses, Corsica Ferries et La Méridionale ont lancé des projets liés respectivement à l'augmentation de la flotte (avec deux nouveaux navires à GNL) et pour répondre aux besoins énergétiques des navires ancrés dans les ports de Corse utilisant du GNL. Dans ce dernier cas, un essai a été lancé dans la région d'Ajaccio pour assurer le transport et le stockage du GNL dans le port, qui est ensuite utilisé pour alimenter les groupes électrogènes. Enfin, une étude a également été menée en Corse sur une usine flottante de regazéification au large de Lucciana et une étude sur un gazoduc.

#### *4.4.9. Considérations générales sur l'état actuel et futur des infrastructures de soutage et de stockage de GNL dans les ports de la Zone d'Objectif du Programme*

Sur la base des données reçues à travers les deux types de recherche utilisés ("recherche en ligne" et "recherche sur le terrain"), les partenaires du projet ont créé une base de données en analysant pour chaque infrastructure existante ou prévue au sein du `` domaine objectif, différents aspects relatifs aux profils de planification, de gestion, technico-opérationnels, de gouvernance et de financement de l'infrastructure, afin de favoriser le développement d'un plan intégré et coordonné de diffusion du GNL dans la zone d'objectifs .

En particulier, les données susmentionnées ont été examinées sous différents profils précisément décrits ci-dessous et attribuables à:

- Profils spatiaux et temporels;
- Processus d'autorisation et état des infrastructures;
- Investissements et parties impliquées;
- Technologies de soutage et de stockage;
- Alimentation du système et connexions possibles;
- Accessibilité de l'infrastructure.

##### *4.4.9.1. Profils spatiaux et temporels connectés aux systèmes d'offre de services de soutage*

En ce qui concerne le profil spatio-temporel, les données collectées et saisies correspondent à: Pays, Ville, Port; Date de début du chantier de construction; Date de clôture du chantier de construction; Temps de construction (mois). A partir de là, il a été possible d'observer une répartition géographique visible sur la Figure 29 qui a donc mis en évidence une prévalence des infrastructures notamment dans les zones de Ligurie, de Sardaigne et de la Région PACA.



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Figure 29. Répartition spatiale des infrastructures existantes ou prévues dans la zone d'objectif du programme



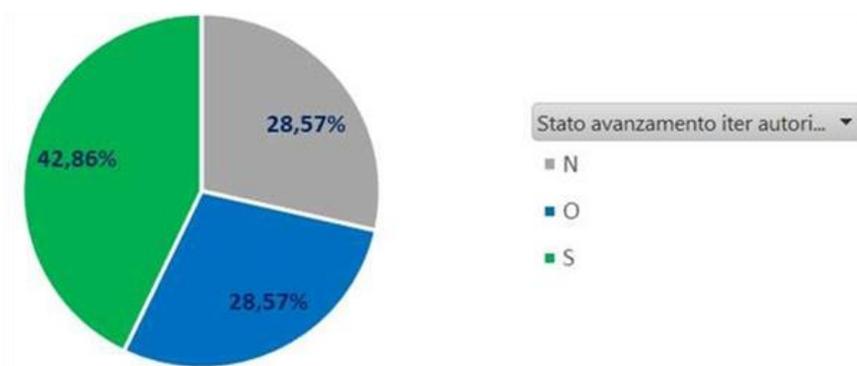
Source: notre élaboration.

Par contre, en ce qui concerne le fonctionnement proprement dit des interventions infrastructurelles ou les délais de réalisation des projets démarrés, il a été noté que les seuls terminaux à avoir achevé les travaux et à être effectivement opérationnels sont: Panigaglia, Fos-Tonkin et Fos-Cavaou (en fonctionnement depuis de nombreuses années), et le terminal de regazéification à usage interne de la société AOC Srl achevée en 2018. Le reste est encore en construction / en cours d'autorisation ou il n'a pas été possible de faire des prévisions de temps adéquates étayées par les données fournies.

#### 4.4.9.2. Processus d'autorisation et état infrastructurel conséquent

Compte tenu du nombre élevé d'interventions qui se situent encore dans les activités de mise en œuvre des procédures d'autorisation, un profil important à analyser est celui inhérent au statut d'autorisation et au statut infrastructurel des projets examinés. En particulier, une analyse comparative a été réalisée afin de mieux comprendre l'avancement de l'ensemble du processus, qui a montré que près de la moitié des interventions examinées (42,86%) ont obtenu l'autorisation finale nécessaire pour procéder à la construction de l'infrastructure (Figure 30).

Figure 30. État du processus d'autorisation



Source: notre élaboration.

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



La partie restante est divisée en ceux encore en attente d'évaluation (partie en bleu de la figure) qui comprennent le dépôt côtier de ISGAS ENERGIT Multiutilities (Cagliari), le terminal maritime d'Oristano (Edison), le dépôt côtier de IVI Petrolifera et l'hypothèse Projet Ottavio Novella SpA qui présente un état infrastructurel «planifié (préliminaire)»; et ceux pour lesquels aucune demande n'a encore été déposée, y compris l'hypothèse de conception de Fratelli Cosulich Spa, le dépôt côtier de Livourne (Signal), le consortium industriel de la province de Sassari (Porto Torres) et l'hypothèse de conception dans le port de Toulon, le tout dans un état d'infrastructure «planifié (preliminary)».

#### *4.4.9.3. Investissements et parties impliquées*

Suite à l'examen de profils plus descriptifs liés avant tout à la localisation des infrastructures et à l'avancement du processus correspondant, il est apparu nécessaire de procéder à une analyse des CAPEX que les sujets concernés ont investis ou n'ont pas encore investi. Dans de nombreux cas, une coïncidence est apparue entre le gestionnaire et la personne effectuant l'intervention et le montant des investissements constituant une donnée sensible, il n'a pas été possible de réaliser une analyse incluant toutes les interventions étudiées. Malgré cela, sur la base des données dont disposent les partenaires du projet, il est possible d'affirmer que le montant total des investissements se situe entre 2,5 et 75 millions d'euros.

#### *4.4.9.4. Technologies de soutage et de stockage*

Comme indiqué dans les paragraphes précédents, les informations relatives à la technologie adoptée ou envisagée pour faire le plein de GNL ont ensuite été incluses (colonnes «Technologies utilisées», «Capacité de ravitaillement - Type / Calendrier» de la base de données). En particulier, la recherche menée s'est concentrée sur quatre configurations principales et en ligne avec l'approche EMSA:

- Port to Ship (PTS) et Terminal to Ship (TPS);
- Truck to Ship (TTS);
- Ship to Ship (STS);
- Mobile Fuel Tanks.

Dans le cadre des différentes infrastructures analysées, les résultats ont montré que 10 (sur 14 au total) prévoient l'utilisation de la technologie STS alors que pour le moment, les technologies à adopter pour les hypothèses de conception du gisement côtier de Sassari n'ont pas encore été identifiées, de la société AOC Srl et pour le Port de Toulon ainsi que le type d'adaptation pour le terminal Fos-Tonkin. En ce qui concerne le type de navires à approvisionner et le temps nécessaire pour effectuer les opérations, il a été possible d'étudier les variables en question dans le cas du dépôt côtier du chenal portuaire de Cagliari dans lequel les pompes de ravitaillement des navires sont dimensionnées au maximum capacité de ravitaillement des bateaux pour 250 m<sup>3</sup> / h; du terminal maritime d'Oristano et du terminal Higas d'Oristano où un ravitaillement de barges de 1000 m<sup>3</sup> est prévu et, enfin, le dépôt côtier de IVI Petrolifera caractérisé par la réalisation d'opérations de soutage en référence à des barges d'une capacité inférieure à 500 m<sup>3</sup>. En ce sens, la situation du projet des Frères Cosulich SpA et Ottavio Novella SpA est plus articulée, ce qui prévoit plutôt la fourniture de trois types de navires correspondant à des navires de croisière, des navires rouliers et des porte-conteneurs avec des délais estimés en 3 / 5 heures pour les trois.

#### *4.4.9.5. Alimentation, connexions et alimentations du système*

Le profil examiné par la suite fait référence à l'alimentation électrique de l'installation, à ses branchements et à ses alimentations, c'est pourquoi, au sein de la base de données rappelée à plusieurs reprises, les informations mises à disposition ont été examinées en référence aux modalités de chargement et de stockage, injection de GNL et livraison de soutage.

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



De l'examen des données précitées, il ressort que les terminaux de regazéification actuellement opérationnels ont une capacité de stockage bien supérieure aux dépôts de soutage prévus avec des chiffres allant de 330000 m<sup>3</sup> du terminal de Fos Cavaou à 20000 m<sup>3</sup> de l'hypothèse du projet du dépôt de Livourne jusqu'à seulement 60 m<sup>3</sup> du projet AOC Srl.

#### *4.4.9.6. Accessibilité à l'infrastructure*

Le dernier profil extrêmement important notamment aux fins des opérations de chargement, de déchargement et d'avitaillement est le niveau d'accessibilité tant en ce qui concerne les liaisons routières que ferroviaires, c'est pourquoi, comme le soulignent les cas individuels brièvement examinés par les parties précédents de la fiche susmentionnée (et détaillés dans les différents paragraphes du produit T2.1.3), chaque infrastructure a également été évaluée de ce point de vue. En particulier, les informations relatives:

- Distance des centres urbains (du centre-ville);
- Distance des centres urbains (du point frontalier le plus proche de la ville);
- Niveau d'accessibilité pour l'avitaillement avec des véhicules routiers;
- Niveau d'accessibilité du terminal de ravitaillement routier GNL;
- Niveau d'accessibilité ferroviaire;
- Niveau d'accessibilité routière.

Pour certaines des hypothèses de conception, l'emplacement futur n'a pas été indiqué, il n'a donc pas été possible d'évaluer leur potentiel et / ou leur criticité dans ce sens. Plus précisément, ce sont les hypothèses de la phase préliminaire de F.lli Cosulich S.p.A, Ottavio Novella S.p.A, gisement côtier du port de Porto Torres et gisement côtier du port de Toulon. La distance du centre habité dans le cadre des infrastructures déjà en place ou du moins dont la localisation future a été définie, varie dans une fourchette comprise entre 1,1 km dans le cas du terminal privé de A.O.C. et 25 km du terminal flottant de regazéification FSRU Toscana.

En ce qui concerne les niveaux d'accessibilité routière, il est apparu que l'infrastructure la plus critique en ce sens est celle de Panigaglia, pour laquelle le seul lien avec la ville est la route provinciale; tandis qu'au contraire, les hypothèses de Cagliari, Fos-sur-Mer, Fos-Tonkin et Fos-Cavaou ont des liaisons bien définies et extrêmement bonnes avec le réseau routier.

Enfin, en ce qui concerne l'accessibilité ferroviaire, on note la persistance de la criticité rapportée ci-dessus pour Panigaglia également au niveau ferroviaire (elle est à 7,2 km de la gare de La Spezia), ainsi que la situation très positive du terminal privé d'A.O.C. Srl qui est située à seulement 500 mètres du réseau.

### **4.5. Business cases et bonnes pratiques dans les ports méditerranéens**

La BD développée par le partenariat a une couverture géographique des infrastructures examinées dans le cadre de la cartographie qui est bien plus importante que prévu initialement dans le formulaire (sans augmentation des coûts du projet). Ce choix était fonctionnel afin de développer un outil analytique détaillé de suivi du système infrastructurel de soutage et de stockage de GNL dans la zone portuaire maritime en Méditerranée, en tenant également compte des réalités portuaires de la rive sud.

Cela a également permis le développement d'importantes initiatives de réseautage et de collaboration au sein du projet TDI RETE-GNL avec le groupe technique WestMED sur les questions de «transport durable / transport maritime vert» à partir desquelles des opportunités de capitalisation et de diffusion plus poussée de résultats du projet.

En particulier, le dernier chapitre de la version finale du produit T2.1.3 (auquel il convient de se référer pour une vue détaillée) présente et examine une série d'analyses de rentabilité pertinentes concernant :

- Italie (hors zone du programme): les cas des ports de Venise, Ravenne, Gioia Tauro, Rovigo, Naples, Crotona et Augusta sont examinés
- France (Hors Zone Programme): les études de cas relatives aux infrastructures GNL de Dunkerque et Montoir-de-Bretagne sont examinées
- Espagne: des études de cas relatives aux installations de GNL dans les ports de Bilbao sont envisagées; Barcelone Sagunto, Carthagène, Huelva, Mugaros.
- Zone MENA (Moyen-Orient-Afrique du Nord): dans le produit T.2.1.3 pour les raisons indiquées dans le document lui-même et mentionnées dans la fiche récapitulative du produit, les études de cas sont également envisagées au niveau de pays spécifiques ou des ports de référence individuels (Bahreïn, Ain Sokhna, Haïfa, Aqaba, Mina Al Ahmadi, Al-Zour, Liban, El Jadida - port de Jorf Lasfar, Ruwais, Jebel Ali, Fujairah, Al Hamriyah.

Veillez vous référer à la version complète du produit T2.1.3 pour un examen détaillé de toutes les données et informations incluses dans le DB. L'ensemble de données et les activités de recherche menées pourraient valablement être capitalisés à l'avenir pour créer un Observatoire permanent des infrastructures GNL dans la zone portuaire maritime en relation avec la zone du programme mais aussi avec une portée et une portée géographiques plus larges. qui considère l'Italie et la France dans leur ensemble ou l'ensemble de la zone géographique attribuable à la Méditerranée. Ces hypothèses d'exploitation des résultats de la recherche ont en effet trouvé un outil de mise en œuvre possible pour le futur dans le cadre de la Table des Carburants Alternatifs promue par la Région Ligurie et la Chambre de Commerce de Gênes et Côte d'Azur à laquelle le CF (UNIGE-CIELI) participe suite signature officielle du protocole d'application connexe.



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## **5. FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.2.1 "LIGNES DIRECTRICES POUR LA LOCALISATION ET LE DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS PORTUAIRES / DÉPÔTS DE GNL "**

### **5.1. Finalités du produit T2.2.1**

Le produit T2.2.1 "Lignes directrices pour la localisation et le dimensionnement des installations portuaires / dépôts de GNL", inclus dans le projet TDI RETE-GNL dans le cadre du programme Interreg Italie-France Maritime 2014-2020, vise à définir des lignes directrices fondamentales pour répondre aux problématiques liées à la localisation et au dimensionnement des installations portuaires et des dépôts de GNL, dans les ports de la Zone Cible, à savoir la Ligurie, la Toscane, la Sardaigne, la Corse et la Région PACA, également en tenant compte des spécificités potentiellement liées aux différentes options technologiques disponibles .

Le but du produit, en particulier, est d'identifier un cadre conceptuel fonctionnel pour prendre des décisions de conception d'infrastructure qui sont correctes en ce qui concerne l'emplacement et le dimensionnement des installations d'avitaillement et de stockage de GNL dans l'environnement maritime portuaire.

Le produit T2.2.1 a prévu la participation des partenaires de projet suivants (et des consultants externes associés), conformément au formulaire de projet :

- P1/CF (UNIGE-SKY) : définition du cadre du projet ; attribution des activités pour la réalisation du projet au consultant externe Université de Udine (UNIUD), consultant du chef de file, dans le cadre du contrat pour la réalisation des activités de recherche d'ingénierie technique liées à l'utilisation du GNL dans le secteur maritime et portuaire dans le cadre du projet européen INTERREG ITA-FRA Marittimo 1420 "Technologies et dimensionnement des installations pour le RÉSEAU de distribution primaire de GNL dans les ports de la zone transfrontalière" ; examen et intégration du rapport préparé par le consultant externe ; réalisation de la fiche de synthèse du produit.
- P2 (UNUPI) ; P3 (UNICA) ; P4 (OTC) ; P5 (CCIVAR) : soutien à la FC dans la définition du cadre des travaux ; validation de l'index des produits ; examen et mise au point de la version finale des travaux.

Ceci étant dit, il convient de noter que toutes les sections incluses dans le produit T2.2.1 sont à attribuer au consultant externe du CF de l'Université d'Udine (UNIUD).

### **5.2. Aspects introductifs**

#### **5.2.1. Le cadre réglementaire**

Les objectifs fixés par la Communauté européenne, préparés à partir de la directive 2014/94/UE et repropoés dans la stratégie nationale de l'énergie (SEN) qui visent à développer le réseau de distribution et d'utilisation du GNL, visent à garantir que, d'ici la fin de 2025 et 2030 respectivement, un réseau central de points d'approvisionnement en GNL soit disponible pour les navires opérant dans les ports maritimes et les ports intérieurs. La construction de l'ensemble du réseau implique la préparation et le développement de terminaux, de réservoirs et de conteneurs GNL mobiles ainsi que de navires et de barges-citernes, sans oublier la sélection de l'emplacement des points de ravitaillement en GNL dans les ports, sur la base d'une analyse coûts-avantages, y compris une évaluation des avantages environnementaux. Selon la même directive, le GNL pourrait répondre aux obligations de rendre ce carburant de substitution de plus en plus disponible le long des principaux axes européens d'importance internationale, et en particulier le long des réseaux TEN-T, ce qui permettrait de réduire considérablement les émissions de la flotte et d'obtenir des avantages environnementaux substantiels.



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



### ***5.2.2. Considérations techniques sur l'utilisation comme combustible marin***

L'utilisation du GNL comme carburant alternatif pour la propulsion marine peut aider à surmonter les produits énergétiques caractérisés par un impact environnemental global plus important, ce qui entraîne des effets positifs non seulement en termes de facilitation de la réalisation des objectifs de réduction de l'impact de la présence de soufre dans les carburants (conformément aux objectifs fixés par la directive européenne 2012/33/UE, mise en œuvre en Italie par le décret législatif n° 112 /2014) mais aussi en termes de diffusion de l'utilisation de carburants alternatifs dans le secteur des transports (conformément à la directive 2014/94/UE, créée dans le cadre du paquet "Énergie propre pour les transports" développé par la CE).

Transporté par mer sous forme liquide (liquéfié à température cryogénique pour le rendre plus léger et moins encombrant) par des méthaniers, le GNL, une fois arrivé à destination, est déchargé dans des installations de stockage qui le remettent sous forme gazeuse afin de le rendre disponible pour la consommation traditionnelle. Cela implique un coût d'installation élevé visant non seulement à assurer la fiabilité des matériaux et des composants, mais aussi à prévenir les problèmes de sécurité (exposition directe, évaporation rapide, inflammabilité). De plus, le stockage cryogénique étant un système actif, l'infiltration thermique générant inévitablement des vapeurs de méthane qu'il faut gérer, il nécessite également une conception minutieuse de l'infrastructure elle-même. En raison des coûts économiques et énergétiques environnementaux des différents systèmes, il est nécessaire de limiter le temps de séjour du GNL dans le stockage et, par conséquent, au moyen d'une analyse précise de la demande réelle, de maximiser l'utilisation du GNL en tenant compte également des utilisateurs accessoires à l'utilisation pure du soutage (par exemple pour l'approvisionnement du transport interne dans le port, la production éventuelle d'électricité également au service des navires amarrés, etc.) En fonction de la taille des utilisateurs à desservir, il est également nécessaire d'identifier le système de soutage le plus approprié, en commençant par le mode Truck To Ship pour les capacités modestes, puis en progressant vers les modes " Ship To Ship " et " Terminal To Ship ".

### ***5.2.3. Criticités liées à l'utilisation du GNL pour la propulsion marine***

Parmi les questions critiques éventuelles ou du moins les questions pertinentes liées à l'utilisation du GNL dans l'environnement portuaire maritime et à la définition d'un système d'infrastructure pour le soutage du GNL, beaucoup ont été mises en évidence par les universitaires et les praticiens. Un premier point fondamental de ce point de vue est la question de la vision stratégique globale, qui renvoie à la nécessité de développer une vision aussi complète que possible de la stratégie nationale qui tienne compte de tous les aspects nécessaires au développement harmonisé du secteur. Un deuxième aspect important est la nécessité d'une coordination constante entre tous les acteurs et partenaires du secteur, également afin de mieux utiliser les possibilités de financement des programmes communautaires et des institutions financières. Une autre question liée au déploiement efficace à grande échelle du GNL dans le secteur maritime-portuaire concerne la dynamique de l'offre et de la demande du combustible en question. Un système d'infrastructure adéquat pour le soutage du GNL au niveau des ports et des hinterports doit être mis en place : la possibilité réelle de soutenir la diffusion de cette solution technologique par les armateurs ne peut être séparée de la fourniture d'un système d'infrastructure généralisé et fiable avec des prix d'approvisionnement compatibles avec les conditions du marché.

D'où la nécessité d'évaluer les nouvelles liaisons et routes commerciales qui seront desservies par des navires à propulsion GNL et d'analyser l'ensemble des nœuds portuaires qui s'équipent ou ont l'intention de s'équiper de systèmes de soutage et de stockage de GNL pour répondre à la demande des armateurs.

L'emplacement des installations et donc le choix des ports où construire les infrastructures de soutage du GNL doivent tenir compte de certains éléments, à savoir l'existence de routes commerciales

appropriées où les systèmes de propulsion du GNL peuvent être utilisés ; la présence d'autres opérateurs économiques importants dans la chaîne de production technologique de ce combustible de substitution (opérateurs de terminaux et autres consommateurs finaux de GNL) ; la morphologie actuelle et future des zones de la ECA et de la SECA.

Un autre élément important de l'analyse consiste à évaluer la spécificité et les caractéristiques techniques des ports potentiellement intéressés par la construction d'un terminal ou d'une autre solution de soutage et de stockage de GNL, ainsi que l'évaluation des profils liés à son aménagement. Parmi les différents profils, à titre d'exemple uniquement, il est essentiel de considérer les variables portuaires telles que : le nombre de navires à navires, le type et la taille des navires utilisant les services portuaires, la présence d'un trafic mixte, l'existence de limites physiques à l'accessibilité technico-nautique, etc.

Une autre question qui ne peut être clairement omise est celle du prix du combustible en question car, outre la nature capitalistique de l'infrastructure en question et les périodes de remboursement économique et financier extrêmement longues, il est extrêmement volatile, ce qui nécessite une connaissance adéquate des conditions actuelles et futures des prix du GNL et de la marginalité de l'entreprise : ces éléments déterminent la possibilité d'une participation directe du secteur privé ou la nécessité de fournir des formes et des mécanismes de soutien public pour la construction et la gestion de ce type d'infrastructure dans le secteur portuaire.

Les questions liées aux profils technologiques, à la normalisation et à la sécurité des terminaux de stockage et de réapprovisionnement de GNL nécessitent également une évaluation des exigences techniques et technologiques des différents systèmes et composants qui les composent, notamment en ce qui concerne les profils de sécurité tant dans la phase de conception des installations que dans la phase de gestion des opérations (en tenant compte de la configuration technologique de soutage adoptée). Ces derniers profils ont été dûment examinés et également pris en compte dans le cadre du projet TDI RETE-GNL, en particulier dans le cadre de la composante T1 (voir la sortie T1.1.1. pour une analyse détaillée des thématiques en question).

Certains problèmes critiques potentiels peuvent également se poser lors de l'acquisition des autorisations et des permis nécessaires à la construction et/ou à la gestion des usines et des terminaux, par exemple les procédures d'obtention des permis, le respect des exigences en matière d'évaluation et d'appréciation des risques, la gestion de la sécurité, etc. Afin d'impliquer les opérateurs privés dans la construction et la gestion de ce type d'infrastructure, il est nécessaire de garantir la certitude des règles de référence et la présence d'un système régi par les décideurs politiques et le secteur public qui assure, dans le respect total de la loi, la rapidité des procédures bureaucratiques et administratives nécessaires.

#### ***5.2.4. Systèmes de soutage et chaînes d'approvisionnement***

Parmi les éléments qui peuvent interagir et influencer les choix optimaux liés à l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement en GNL, on trouve :

- l'approvisionnement externe, généralement un terminal de regazéification qui reçoit des méthaniers et qui dispose à la fois d'une connexion au réseau de GNC et de la possibilité de transférer le GNL à d'autres transporteurs ;
- le système de transport/transfert à proximité des utilisateurs finaux, généralement des pipelines cryogéniques uniquement pour des transferts locaux (dans un rayon de 250 mètres), ou des camions-citernes (éventuellement des conteneurs ISO), des petits pétroliers, des briquets ou même des barges ;



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

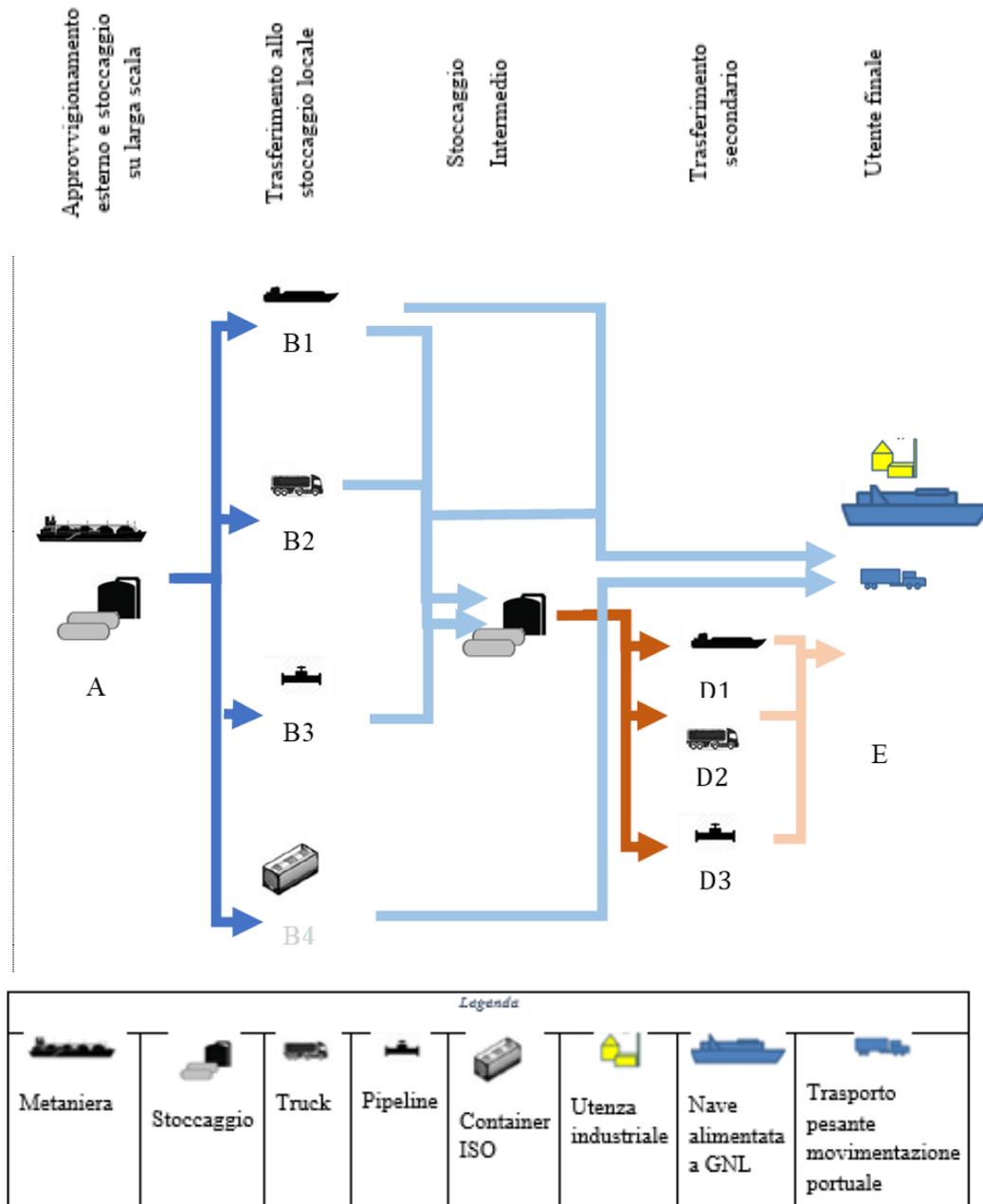


- tout stockage intermédiaire à proximité de l'utilisateur final, généralement des réservoirs cylindriques sous pression de type C, hébergés en surface, ou, pour les grandes quantités, des réservoirs basse pression de type B ;
- tout transfert secondaire à courte distance vers la station d'avitaillement ;
- le système de soutage proprement dit qui permet de fournir le GNL au navire (utilisateur final) et peut être accompagné de fournitures à d'autres types de services (transport terrestre lourd, utilisateurs industriels, etc.).

Les différentes combinaisons de ces éléments génèrent de multiples configurations au niveau des systèmes et des infrastructures (Figure 31) : en partant de la combinaison minimale d'approvisionnement externe - conteneurs ISO - chargement sur le navire (A-B4-E), qui ne nécessite potentiellement qu'un parc de stockage de conteneurs et une manutention par grue, jusqu'aux STT (A-B2-E), STS (A-B1-E) et STP (A-B1-C-E ou A-B2-C-E) plus typiques, qui sont considérés comme extrêmement flexibles car capables d'approvisionner en toute sécurité de gros utilisateurs.



Figure 31. Chaînes d'approvisionnement de soutage



Source : élaboration UNIUD.

### 5.3. Composants des installations de GNL et des dépôts portuaires

Compte tenu des différents éléments de la chaîne d'avitaillement, le produit T2.2.1 concentre l'attention sur le dimensionnement de l'infrastructure portuaire en termes d'impact du point de vue de l'espace, du temps, de la gestion et par référence à d'éventuelles questions critiques liée à la coexistence d'autres activités portuaires à proximité du système de soutage / stockage de GNL.

### 5.3.1. Utilisateurs navals

Étant donné que l'utilisation du GNL comme carburant peut concerner des navires de toutes tailles (Tableau 29), il convient d'accorder une plus grande attention aux navires voyageant sur des routes à horaires fixes et répétitifs, tels que les ferries et les navires réguliers de transport de passagers, les navires Ro-Ro et Ro-Pax et les porte-conteneurs. Par conséquent, l'évaluation concernant le dimensionnement de l'installation portuaire de GNL est également basée sur la taille du réservoir à bord et donc sur l'autonomie du navire utilisateur (propulsé par le GNL), ou plutôt sur le type de navires qui nécessiteront des services de soutage de GNL dans le port qui évalue l'emplacement et le dimensionnement du système de soutage/stockage en question.

Tableau 29. Temps de réapprovisionnement pur (hors phases de démarrage, inertage, etc.)

	Réservoir [m <sup>3</sup> ]	Portée [m <sup>3</sup> /h]	Durée [h]	Système le plus approprié
Bateaux de service	50	60	¾	TTS
Ro-Ro de petite taille	400	400	1	TTS/STS
Grand Ro-Ro et Ro-Pax	800	400	2	STS
Petit navire de charge	2.000-3.000	1.000	2-3	STS
Grand navire de charge	4.000	1.000	4	STS
Porte-conteneurs	10.000	2.500	4	STS/PTS
Grands pétroliers et porte-conteneurs	20.000	3.000	7	STS/PTS

Source: élaboration UNIUD.

### 5.3.2. Transfert de GNL : camions-citernes et conteneurs ISO

Du point de vue de l'ingénierie des installations, la configuration technologique du type TTS est notoirement caractérisée par une plus grande simplicité de gestion et une plus grande souplesse opérationnelle, car elle peut être raisonnablement modulée (en termes de capacité et de méthodes d'utilisation). Cette solution a cependant un impact important en termes de problèmes liés à la mise en œuvre éventuelle de SIMOPS (simultaneous operations). Cette option de soutage est toutefois adaptée aux besoins modestes tant en termes de volumes pouvant être traités, de l'ordre de 50-60 m<sup>3</sup>, qu'en termes de vitesse de chargement, avec des débits de 40-60m<sup>3</sup>/h. Comme alternative à la configuration TTS, il est possible de mettre en œuvre celle liée à l'utilisation de pétroliers ISO qui, malgré leurs dimensions limitées, et donc leurs volumes restreints (20-45 m<sup>3</sup>), ont des dimensions standard (20 ou 40 pieds) et sont donc polyvalents et flexibles. Comme pour tous les systèmes de stockage de GNL, il est nécessaire d'évaluer le temps de rétention, c'est-à-dire le temps pendant lequel la surpression générée par l'évaporation du GNL reste dans des limites acceptables pour la structure du conteneur : pour les conteneurs ISO, le temps de rétention est compris entre 50 et 80 jours.

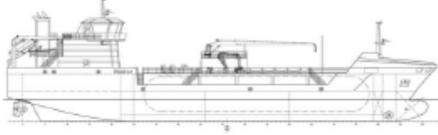
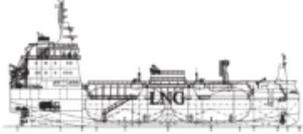
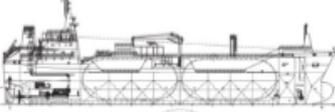
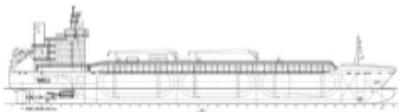
### 5.3.3. Transfert par navire

Le produit T2.2.1 décrit également les profils pertinents liés aux choix de taille et d'emplacement des installations qui impliquent un soutage en mode STS. Cette dernière configuration, qui prévoit la connexion directe entre le navire fournisseur (navire ou barge) et le navire à propulsion GNL à approvisionner, permet non seulement de traiter de manière efficace et efficiente des volumes plus importants avec des capacités plus élevées, mais aussi de limiter les dimensions d'encombrement à quai, pouvant être concrétisées également en pleine mer, et, par conséquent, de faciliter les SIMOP. La nature capitalistique de la configuration de la technologie de soutage du GNL de type STS découle avant tout des investissements considérables nécessaires à l'achat de véhicules d'approvisionnement en GNL, c'est-à-dire des soutets/sous-sols/barges. En outre, plus la capacité des équipements de soutage du GNL



augmente, plus la taille des équipements et leur coût augmentent. La taille maximale de l'offre est imposée par la taille du navire ou de la barge fournisseur, et cette dernière découle à la fois de l'optimisation économique et des contraintes de manœuvrabilité et de tirant d'eau dans l'espace portuaire. À titre d'exemple, dans la figure ci-dessous (Figure 32), nous présentons les données significatives de certains navires conçus pour des tailles différentes.

Figure 32. Exemples de méthaniers pour les transferts intermédiaires

<b>FKAB L1</b> <b>Lunghezza fuori tutto 67m</b> <b>Capacità GNL 800m<sup>3</sup></b> Portata scarica 2x400 m <sup>3</sup> /h Velocità di servizio 12.5 nodi Potenza installata 1350 kW <b>Pescaggio 3.5m</b>	
<b>WARTSILA WSD59 3K</b> <b>Lunghezza fuori tutto 85m</b> <b>Capacità GNL 3000m<sup>3</sup></b> Velocità di servizio 12.0 nodi Potenza installata 3500 kW <b>Pescaggio 4.25m</b>	
<b>WARTSILA WSD59 10K</b> <b>Lunghezza fuori tutto 125m</b> <b>Capacità GNL 10000m<sup>3</sup></b> Velocità di servizio 14.0 nodi Potenza installata 4500 kW <b>Pescaggio 6.6m</b>	
<b>FKAB L2</b> <b>Lunghezza fuori tutto 158m</b> <b>Capacità GNL 16500m<sup>3</sup></b> Portata scarica 2x400 m <sup>3</sup> /h Velocità di servizio 15.2 nodi Potenza installata 5200 kW <b>Pescaggio 6.2m</b>	

#### 5.3.4. Stockage au sol

En ce qui concerne la phase de stockage au sol, la capacité des installations individuelles varie selon les différents types de configurations de soutage. Avec l'option Port To Ship, adaptée aux grands projets, caractérisée par une base d'utilisateurs importante et stable dans le temps, une capacité de 20 000 m<sup>3</sup> est atteinte avec un débit de 2 000 m<sup>3</sup>/h. En raison de sa taille, il est plus raisonnable d'envisager l'implantation de cette usine le plus près possible d'un terminal de regazéification, afin de garantir un approvisionnement sûr et économique. Les terminaux de stockage plus petits sont ceux qui utilisent des configurations de type TTS, bien que les capacités correspondantes puissent être mises en œuvre non seulement en découplant la phase d'approvisionnement et de soutage dans le temps, mais aussi en connectant plusieurs réservoirs en série.

#### 5.4. Macro-localisation des installations portuaires et des dépôts de GNL

Le produit T2.2.1. définit également en temps utile les activités de conception technique fonctionnelles à la détermination de la macro-localisation optimale d'une infrastructure de soutage de GNL, qui dépend

également du développement de l'ensemble du réseau logistique concerné. Les profils les plus pertinents à cet égard peuvent être résumés comme suit :

- Vérifier la disponibilité du GNL et la source d'approvisionnement la plus appropriée, et donc la distance jusqu'à la source d'approvisionnement, afin de définir les options de transport les plus appropriées.
- Évaluer les utilisateurs potentiels<sup>1</sup> en termes de caractéristiques prévisibles de la demande et de l'offre (débit, pression, température, contraintes opérationnelles, fréquence d'accostage et de réapprovisionnement, prévisibilité du service, etc.)
- Choisir l'option de soutage et vérifier, avec l'autorité portuaire, les limites imposées par les autres activités présentes<sup>2</sup>.
- Définir la configuration du stockage<sup>3</sup> sur la base des interactions avec l'autorité portuaire afin de définir l'espace disponible et les contraintes d'utilisation des zones.

Les contrôles ci-dessus permettent d'évaluer les paramètres suivants (Tableau 30), afin de définir un emplacement possible d'une soude/installation de stockage de GNL dans un environnement portuaire.

*Tableau 30. Paramètres liés au marché et paramètres technico-logistiques et de sécurité*

<b>Paramètres liés au marché</b>	<b>Paramètres techniques, logistiques et de sécurité</b>
<p>Équilibre entre les approvisionnements et les consommations potentielles, étroitement lié au dimensionnement du système de stockage en fonction des temps de séjour autorisés des réservoirs.</p> <p>La taille du terminal, en tenant compte de la possibilité de créer des installations modulaires ou évolutives, et en identifiant les limites maximales imposées.</p> <p>Fiabilité de l'approvisionnement.</p> <p>Présence de services publics à terre.</p> <p>Évaluation des besoins de soutage non seulement en termes de volumes, mais aussi en termes de fréquence et de délais d'approvisionnement.</p> <p>Caractérisation des exigences par type : le trafic de passagers, en raison de sa régularité, est considéré comme de grande valeur.</p> <p>Disponibilité des réseaux de GNC.</p>	<p>Caractérisation du trafic utilisable en termes de taille, de manœuvrabilité et donc de contraintes pour les quais concernés.</p> <p>Caractérisation des systèmes de stockage (taille, temps de séjour, espaces de sécurité).</p> <p>Évaluation des zones disponibles en fonction des besoins de sécurité (zones de sécurité).</p> <p>Aménagement du port et facilité d'accès aux quais concernés. Les installations de GNL se trouvent généralement en dehors des principales zones portuaires, mais ce n'est pas toujours possible.</p>

#### **5.4.1. Exemples de réseaux de soutage et de réseaux SSLNG**

Actuellement, les exemples les plus matures de réseau territorial de GNL sont situés en Europe du Nord, en particulier dans la zone scandinave, le long de la côte norvégienne et de la Baltique. Alors que dans la zone norvégienne, caractérisée par un trafic intense entre les ports et les villes, qui sont petits et

<sup>1</sup> Pour les petits projets, on peut faire référence à des lignes répétitives spécifiques, telles que les ferries et les Ro-Ro à fréquence quotidienne, qui fournissent un utilisateur répétable et fiable. Les structures plus grandes peuvent accueillir des utilisateurs plus importants et exigent donc une plus grande flexibilité.

<sup>2</sup> La configuration PTS, par sa nature même rigidement liée à un quai spécifique, avec les contraintes associées en termes d'espace, de tirant d'eau et de risque d'interférence avec le reste du trafic portuaire, peut être soutenue par un service STS qui augmente sa flexibilité.

<sup>3</sup> Activités d'importance essentielle dans le système PTS, bien qu'elles soient facultatives dans le cas de TTS et STS

relativement isolés, un réseau d'approvisionnement étendu a été mis en place, qui comprend un certain nombre de très petites installations SSLNG (dont certaines sont directement alimentées par des installations offshore à proximité), dans la mer Baltique, contrairement à une zone plus limitée caractérisée par un certain nombre d'utilisateurs plus énergivores, on constate une présence plus importante d'installations plus grandes et une présence plus importante de terminaux d'importation offrant des services auxiliaires.

#### 5.4.2. Possibilités de ravitaillement

Si l'on analyse en détail la zone cible du projet TDI RETE-GNL dans le cadre du programme Interreg Italie-France Maritime 2014-2020, il existe quatre grands terminaux de regazéification : le OLT à Livourne et Panigaglia en Italie, et les deux terminaux de Toulon Fos Tonkin et Fos Cavaou, dont les caractéristiques sont soulignées dans le Tableau 31 Tableau 74.

Tableau 31. Grandes échelles de GNL dans la zone cible et les zones environnantes

Terminal	FOS Tonkin	FOS Cavaou	Livorno OLT	Panigaglia
Storage [m <sup>3</sup> ]	80.000	330.000	137.000	100.000
Capacité annuelle [Nm <sup>3</sup> /anno]	3*10 <sup>9</sup>	8,25*10 <sup>6</sup>	3,75*10 <sup>9</sup>	3,4*10 <sup>6</sup>
Capacité max [Nm <sup>3</sup> /h]	620*10 <sup>3</sup>	1.160*10 <sup>3</sup>	592*10 <sup>3</sup>	427*10 <sup>3</sup>
Transfer STS [m <sup>3</sup> ]		15.000		
Transfer STS [m <sup>3</sup> /h]		4.500		
Reloading small [m <sup>3</sup> ] (previsto)	7.500 (5.000)	15.000 (5.000)	Previsto	In discussione
Reloading small [m <sup>3</sup> /h]	1.000	4.000		

#### 5.4.3. Exemples d'évaluation dans la zone cible

À titre d'exemple, le produit T2.2.1 examiné se réfère à certaines évaluations effectuées dans la zone cible, en particulier dans le port de Gênes, en raison d'utilisateurs potentiels tels que les lignes Ro-Pax vers les îles principales, en raison de leurs caractéristiques de service prévisible, répétitif et fréquent. Dans ce cas, les besoins potentiels en GNL liés aux différents itinéraires dépendraient des caractéristiques des navires concernés et du type de service (qui sont fortement influencés par la vitesse et donc par les choix techniques et économiques des différents armateurs).

En supposant la consommation d'une unité propulsée au GNL assurant un service équivalent à celui d'un navire actuellement utilisé, le calcul suivant<sup>3</sup>  $\dot{Q} = 0,85 \cdot \frac{P_n}{\eta} \cdot \frac{3,6}{v} \cdot \frac{1}{\rho_{GNL} H_i}$ , le réservoir nécessaire pour garantir l'autonomie, c'est-à-dire au moins le produit entre la consommation, à peine déterminée, et la longueur de la section concernée, doit être défini. Avec un besoin, par exemple, de 300 m<sup>3</sup> par jour, la technologie de type STS permettrait un ravitaillement complet en une heure, permettant des opérations simultanées de déchargement et d'embarquement. La configuration du STP, dans ce cas,

<sup>3</sup> où:

- $\dot{Q}$  est la consommation en [m<sup>3</sup>/nm]
- 0,85 correspond au % de la puissance moyenne utilisée par rapport à la puissance installée
- $P_n$  est la puissance installée en kW
- $\eta$  est le rendement de conversion global (en supposant 0,4 pour les propulseurs de plus de 5 MW et 0,35 pour les petits propulseurs)
- $v$  est la vitesse en noeuds
- $\rho_{GNL}$  correspond à la densité de GNL (450kg/m<sup>3</sup>).
- $H_i$  est la valeur calorifique du GNL (50 MJ/kg)

serait plus rapide mais moins flexible car elle limiterait le service aux utilisateurs à un seul quai et imposerait des compromis inacceptables en termes de SIMOP.

#### 5.4.4. Références réglementaires

En ce qui concerne les références réglementaires régissant les infrastructures portuaires de GNL, le produit T2.2.1 résume les plus couramment utilisées dans le tableau ci-dessous (Tableau 32).

Tableau 32. Liste des normes et standards

Norme - Standard	Port	Interface de soutage	Navire ravitaillée	Formation	Risk assessment
<b>IGF code:</b> International code of safety for ships using Gases or other low-flashpoint fuels constructions & bunkering of LNG Fuelled vessels			X		
<b>IGC code:</b> International code for the construction and equipment of ships carrying liquefied Gases in bulk construction of LNG Carrier vessels.	Bunker ship				
<b>SEVESO III Directive 2012/18/EU:</b> On the control of major-accident hazards involving dangerous substances.	Terminal Tank	X			X
<b>ADR 2017:</b> European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road.	Truck-Vehicle			X	
<b>ADN 2017:</b> European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Inland Waterways.	Bunker ship			X	
<b>ISO 18683:</b> Guidelines for systems and installations for supply of LNG as fuel to ships.		X		X	X
<b>ISO 16901:</b> Guidance on performing risk assessment in the design of onshore LNG installations including the ship/shore interface.		X			X
<b>ISO 20519:</b> Ships and marine technology - Specification for bunkering of liquefied natural gas fuelled vessels.	Terminal Bunker ship	X		X	X
<b>ISO 28460:</b> Petroleum and natural gas industries - Installation and equipment for LNG -- Ship-to-shore interface and port operations.	Bunker ship	X		X	
<b>EN 1473:</b> Installations and equipment for liquefied natural gas (LNG) – Design of ground installations.	Tank				X
<b>EN 13645:</b> Installations and equipment for liquefied natural gas - Design of onshore installations with a storage capacity between 5T and 200T.	Tank				
<b>EN 1474-2:</b> Installations and equipment for liquefied natural gas - Design and testing of marine transfer equipment - Part 2: Design and testing of transfer hoses.		X			
<b>EN 1474-3:</b> Installations and equipment for liquefied natural gas - Design and testing of maritime transfer equipment - Part 3: Offshore transfer systems.		X			
<b>NFPA 59<sup>o</sup>:</b> Standard for the production, storage, and handling of liquefied natural gas (LNG).	Terminal Tank Truck-Vehicle			X	

#### **5.4.5. Processus d'autorisation**

Dans le cadre du processus d'autorisation pour la définition d'un projet de soutage de GNL, les phases essentielles qui nécessitent une autorisation concernent l'évaluation des incidences sur l'environnement, les permis de stockage et de traitement des matières dangereuses et les permis de construire. En fait, le processus global comprend une série de phases, à commencer par la phase préliminaire d'identification du contenu nécessaire pour satisfaire les demandes du processus d'autorisation, la phase de préparation des documents à soumettre à l'autorité compétente, la vérification du caractère complet de la demande à soumettre, le processus formel de consultation publique impliquant le proposant, les autorités concernées et les principales parties prenantes, jusqu'à la phase de décision et, si nécessaire, la phase d'appel éventuel et de recours des parties prenantes (après l'octroi de l'autorisation).

#### **5.5. Micro-localisation des installations de GNL**

Suite à une proposition spécifique concernant la micro-localisation d'une installation de soutage et de stockage de GNL dans un port, l'approbation correspondante implique diverses parties ayant des responsabilités diverses. Parmi celles-ci, un rôle fondamental est joué par l'autorité portuaire locale (AdSP ou Autorité portuaire selon les pays) et les capitaineries. La délivrance des autorisations pertinentes par les parties responsables de la micro-localisation devra avoir lieu après l'examen et l'évaluation de multiples facteurs et contraintes, y compris, par exemple, mais pas exclusivement:

- le type de navire qui sera vraisemblablement desservi par l'installation,
- le choix du système de soutage (TTS, STS, TPS, Mobile Fuel Tanks),
- la possibilité d'opérations simultanées avec du soutage et d'autres activités potentiellement risquées à proximité,
- la profondeur disponible au quai,
- la possibilité d'un double ancrage,
- la sécurité nautique,
- la fréquence et le type de trafic des navires,
- l'espace requis pour le passage des navires, en tenant compte des zones de sécurité et des zones d'exclusion des navires nécessaires à la sécurité des opérations,
- les impacts possibles des changements de niveau des marées,
- dans le cas du ravitaillement en carburant de TTS, la charge maximale acceptable pour le quai,
- la distance minimale par rapport aux zones résidentielles,
- l'impact sur les autres activités portuaires, tant en mer qu'à terre,
- les synergies possibles avec d'autres utilisateurs, en plus du soutage,
- les contraintes des distances de sécurité par rapport aux autres types d'activités dans la zone portuaire,
- les questions de sécurité et les restrictions d'accès au public.

#### **5.6. Le dimensionnement des installations de GNL et des installations de stockage dans l'environnement maritime et portuaire**

Le dimensionnement et le choix des composants réels de l'infrastructure portuaire sont liés à la taille de l'installation et aux volumes de GNL attendus. L'architecture typique, étant donné la présence de nombreux grands ports, est celle d'une installation de taille importante, avec un approvisionnement par de petits méthaniers (moins de 10 000 m<sup>3</sup>), un dépôt local, généralement (mais pas nécessairement) avec des réservoirs sous pression en surface, un service interne dans le port STS avec de petites barges ou chalands. En outre, un service TTS peut être envisagé pour un trafic plus limité ou pour fournir des utilisateurs secondaires (systèmes de transport et de manutention portuaire).



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

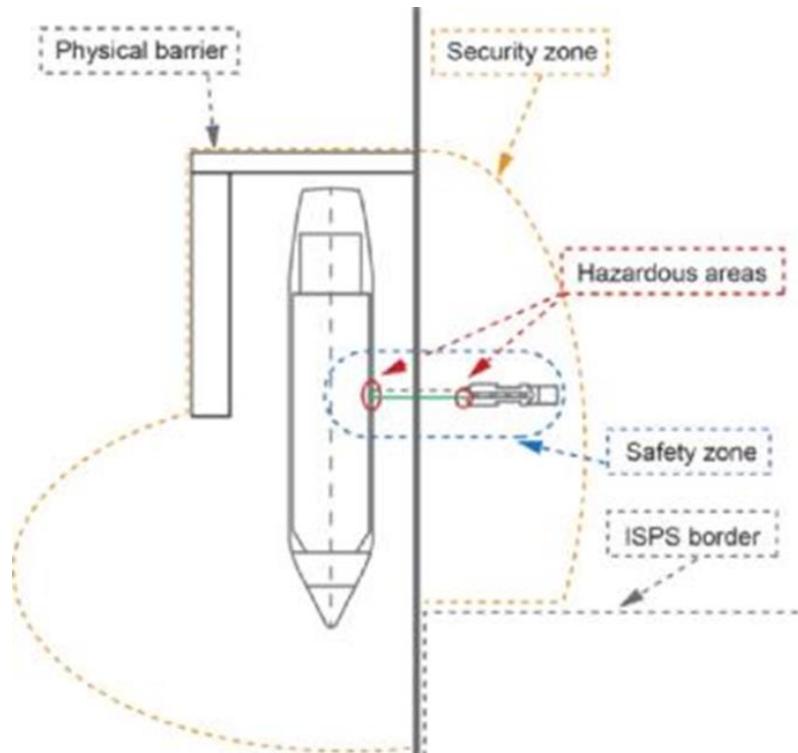


Pour déterminer une estimation des ordres de grandeur des volumes de GNL concernés, il est fait référence aux caractéristiques, en termes de taille et de réservoir et d'autonomie, de certains navires sur le marché. Afin de déterminer les volumes de GNL consommés par les utilisateurs secondaires, la consommation de gazole dans le port de Gênes a été prise comme référence. En considérant, pour l'année 2016, un besoin énergétique lié à l'utilisation du gazole de 137,97 GWh, il est possible d'estimer le besoin équivalent en GNL en termes énergétiques. En supposant un pouvoir calorifique inférieur pour le gazole de 11,86 kWh/kg et une densité de 0,85 kg/l et en utilisant un pouvoir calorifique inférieur pour le GNL de 14,45 kWh/kg et une densité de parité de 0,45 kg/l, il est possible d'estimer une consommation équivalente de GNL d'environ 21 000 m<sup>3</sup> par an).

Dans le cadre des procédures et systèmes de sécurité des zones d'approvisionnement en GNL et des zones environnantes, le produit T2.2.1 prend également en compte le problème des distances de sécurité et des zones qui doivent être créées à proximité des opérations de soutage. En effet, des zones de sécurité (zones de sûreté) et des zones de précaution (zones de sécurité) doivent être mises en place afin de prévenir la survenance d'événements accidentels ou de contenir leurs effets néfastes sur les personnes et les installations, notamment pour éviter la propagation de fuites de gaz dues à des dommages aux équipements et pour éviter leur déclenchement. Afin d'identifier les limites, les méthodes de protection et de renforcement, les procédures, le personnel autorisé à y pénétrer, les dispositifs de protection personnelle et d'autres informations relatives aux deux zones, il est nécessaire d'utiliser les méthodes indiquées dans les manuels appropriés, qui sont ponctuellement indiqués dans la version complète du produit T.2.2.1.

Le dimensionnement des zones de sécurité doit être évalué au cas par cas, en fonction des conditions climatiques locales, et notamment des conditions de vent. La Figure 33 montre un exemple de zones de sécurité liées aux opérations de soutage de la centrale au sol.

Figure 33. Safety e security zone: exemple d'une solution de soutage de TPS



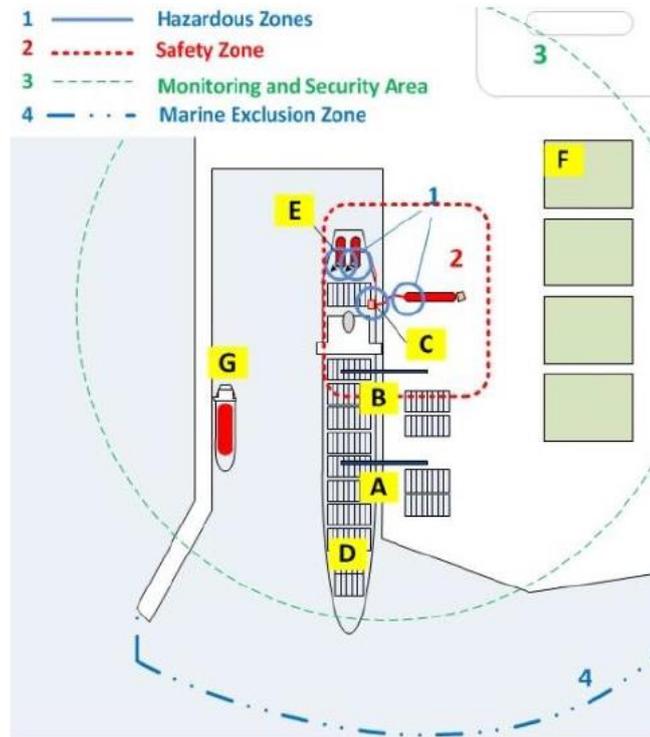
Source: Stavros, 2016

L'élément de force dans la gestion d'une ligne maritime consiste également en une courte période d'escale dans le port ; c'est donc une variable qui doit être observée en permanence afin d'améliorer le service offert. En fait, la période d'escale dans le port peut être réduite, par exemple, par des opérations de soutage en même temps que d'autres activités telles que l'embarquement/débarquement, etc. (SIMOPs). Pour cette raison, l'approvisionnement en carburant par bateau serait préférable, car il utilise presque exclusivement le côté opposé du quai et combine donc la localisation des zones à risque ou à protéger dans cette zone. En ce qui concerne le ravitaillement en GNL par la technologie "ship-to-ship", le port de La Spezia sera bientôt lui aussi touché par ce mode de soutage. En effet, comme le rapporte un article du Corriere Marittimo du 19/10/2020, le navire de croisière Costa Smeralda sera le protagoniste de la première opération de soutage en Italie dans le port de La Spezia. Il sera notamment effectué dans la semaine du 26 octobre au 1er novembre et impliquera l'utilisation d'une barge de soutage pour effectuer les opérations de soutage.

La Figure 34 montre un schéma des différentes opérations simultanées potentiellement intéressantes : A indique la manutention de la charge par grue en même temps que le soutage ; (activité normalement possible dans la zone de sécurité) ; le cas B identifie la même situation mais en dehors de la zone de sécurité (il est conseillé de procéder à une analyse des risques et d'utiliser des mesures de protection) ; les activités C et D sont à éviter (sauf pour l'analyse minutieuse pour C) car elles se réfèrent à des opérations de maintenance corrective dans la zone d'interface de soutage (C) et à l'intérieur du navire (D) ; Le cas E indique les opérations à bord dans la zone de risque d'accident (activités à éviter, à moins d'être soigneusement analysées) ; le cas F indique les activités dans la zone de surveillance la plus éloignée (activités à surveiller) ; le cas G indique les activités dans la zone de contrôle mais en dehors du processus de ravitaillement en carburant impliquant des marchandises dangereuses (activités à surveiller).



Figure 34. Les SIMOP et les restrictions d'accès dans le cas des transporteurs de conteneurs



Le produit T2.2.1 "Lignes directrices pour la localisation et le dimensionnement des installations portuaires/points de déchargement de GNL", inclus dans le projet TDIRETE-GNL dans le cadre du programme maritime Interreg Italie-France 2014-2020, vise à définir quelques lignes directrices de base relatives aux questions concernant la localisation et le dimensionnement des installations portuaires/points de déchargement de GNL. Cet objet est fondamental, notamment parce que chaque zone ou domaine potentiel dans lequel réaliser les différentes options technologiques présente des spécificités bien définies. De cette manière, il a été possible d'identifier un cadre conceptuel permettant de prendre des décisions correctes en matière de conception des infrastructures concernant l'emplacement et le dimensionnement des installations de soutage et de stockage de GNL dans l'environnement portuaire maritime. Sans les lignes directrices contenues dans ce produit T2.2.1, des situations parfois dangereuses se produiraient en rapport avec les activités de soutage dans les ports selon les différentes configurations de la technologie de soutage.

## **6. FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.2.2 "BONNES PRATIQUES POUR LA PLANIFICATION DE LA DISPOSITION ET L'ORGANISATION DES PROCESSUS"**

### **6.1. Finalités du produit T2.2.2**

Le produit T2.2.2 "Bonnes pratiques pour la planification de l'agencement et de l'organisation des processus" prévoit la création d'un rapport de synthèse relatif aux meilleures pratiques liées à la planification de la disposition et à l'organisation des processus liés à la gestion des installations de stockage et le soutage de GNL dans le contexte maritime-portuaire, compte tenu des spécificités qui caractérisent les ports de la Zone Cible (Ligurie, Toscane, Sardaigne, Corse et Région PACA). De ce point de vue, une attention particulière a été portée aux profils liés aux aspects de projet, d'autorisation et de construction, à la définition de l'agencement et à l'organisation et la gestion des processus.

Pour la réalisation du produit, le chef du projet (UNIGE-CIELI) a préparé un cadre conceptuel visant à la création de fiches techniques homogènes visant à cartographier des études de cas et des expériences réussies en rapport avec les objectifs du projet TDI RETE-GNL. Le format de la fiche technique susmentionnée, qui a été partagée et affinée par l'ensemble du partenariat (III Comité de pilotage et adresse du projet TDI RETE-GNL; Cagliari, 31.08.2019) fournit en détail diverses sections et sous-sections, telles que mieux décrit ci-dessous. Ce format a ensuite été élaboré par les différents partenaires en fonction de la zone géographique de référence des études de cas étudiées.

Le format et la structure de la fiche technique en question permettent d'examiner de manière homogène les modalités d'approvisionnement en GNL, le réseau de distribution, les choix de dimensionnement et de micro-implantation des usines concernées, compte tenu également des contraintes environnementales associées, examen de la documentation officielle disponible.

La fiche technique utilisée pour examiner les bonnes pratiques susmentionnées prévoit différentes sections fonctionnelles à la collecte de données et d'informations de diverses natures. En plus des informations concernant la zone géographique d'intérêt, l'auteur de la carte et le cas portuaire / commercial analysé, le format choisi comprend une série de questions visant à enquêter:

- ✓ la description du système;
- ✓ les aspects de planification, d'autorisation et de construction;
- ✓ localisation;
- ✓ les méthodes d'approvisionnement en GNL;
- ✓ services publics et distribution;
- ✓ le dimensionnement du système et l'existence de tout indicateur clé de performance;
- ✓ mises en page et processus;
- ✓ les procédures relatives à la sûreté et à la sécurité;
- ✓ contraintes environnementales.

Dans le détail, les contributions préparées par les partenaires sont les suivantes:

- Business cases relatifs au port de Gênes (Bassin du Port de Sampierdarena - Quai Minéral de Calata Oli) et au port de Vado Ligure (Stockage en haut de la plateforme) créés par CF UNIGE-CIELI; ces contributions ont analysé certaines des principales hypothèses de localisation pour la préparation des installations de stockage et de soutage de GNL par rapport aux ports de l'AdSP de la mer Ligure occidentale;

- Business case pour le port de Livourne créé par le partenaire P2 DESTEC-UNUPI; cette contribution a permis d'étudier avec un intérêt particulier les aspects de type autorisation concernant les conditions de l'installation;

- Business cases relatifs au port de Cagliari (Projet de Terminal GNL ISGAS dans le Port de Cagliari) et au port d'Oristano (Usine de Stockage, Regazéification et Distribution de GNL proposé par IVI Petrolifera dans le Port d'Oristano - Santa Giusta) construit par le Partenaire P3 UNICA -CIREM; ces contributions ont mis en évidence de manière très détaillée la configuration, l'exploitation et la procédure d'autorisation des deux systèmes décrits.

- Business case relatif au port de Toulon réalisé par le consultant externe Voir UP Partner P5 CCI du VAR; le consultant externe a produit le rapport relatif au terminal GNL des OP du Tonkin géré par Elengy. Le rapport dans sa version intégrale est joint au rapport en tant qu '«ANNEXE I».

Afin de donner un aperçu du produit, ou des principales bonnes pratiques liées à la planification de la disposition et de l'organisation des processus dans les ports de la zone d'objectif du projet, les fiches techniques susmentionnées sont intégralement rapportées ci-dessous.

## 6.2. Business cases - port de Gênes.

Zone d'intérêt: Ligurie.

Auteur: UNIGE-CIELI.

Port/Business case: Gênes - Bassin du port de Sampierdarena – quai Calata Oli Minerali.

Photo ou rendering des zones de soutage et de stockage de GNL  
(bassin portuaire de Gênes-Sampierdarena-quai Calata Oli Minaral)



Layout Genova - Bassin du port de Sampierdarena - quai Calata Oli Minerali



TDI RETE-GNL

### 6.2.1. Introduction.

L'étude d'ingénierie analyse l'éventuelle construction d'un dépôt de GNL permettant d'offrir des services de soutage de GNL aux navires et aux poids lourds (camions). L'installation en question prévoit donc, outre la construction de la station de ravitaillement des méthaniers, également la construction d'une station pour les opérations de chargement «camions», comprenant un parking pour les pétroliers qui seront alimentés en soutes depuis le dépôt même. Ce projet aurait lieu à Calata Oli Minerali. La fourniture de GNL pour ce qui concerne le bord de mer, selon l'hypothèse de projet, ne serait autorisée qu'aux navires de certaines dimensions pour assurer les manœuvres nécessaires pour effectuer les opérations d'accostage et de soutage dans des conditions sûres. L'étude proposée utilise un navire présentant les caractéristiques suivantes comme unité de référence:

<b>Capacità</b>	6.600 m <sup>3</sup>
<b>Serbatoi</b>	2 pcs di tipo "C" di uguale capacità
<b>Temperatura di trasporto</b>	minimo -163 °C
<b>Lunghezza f.t.</b>	106,0 m circa
<b>Larghezza f.t</b>	18,6 m circa
<b>Altezza costruzione</b>	11,7 m circa
<b>Pescaggio max estivo</b>	5,6 m circa
<b>Velocità (85% MCR – 15% sea margin)</b>	13,5 nodi
<b>Rata di discarica – bunkeraggio</b>	500 m <sup>3</sup> /h
<b>Rata di discarica - deposito costiero</b>	1000 m <sup>3</sup> /h
<b>Rata di caricazione con vapori di ritorno</b>	2000 m <sup>3</sup> /h
<b>Numero di approdi mensili previsti a regime (ipotizzando circa 120.00 tons. annue)</b>	3,5
<b>Permanenza in banchina</b>	min. 10 ore – max. 16 ore

### 6.2.2. Description du système.

L'hypothèse de projet, dans le scénario final de mise en œuvre de l'usine, la construction de 4 réservoirs de stockage de GNL, afin d'assurer une capacité totale de stockage de 20 000 m<sup>3</sup>. De plus, la construction d'une aire de ravitaillement et de stationnement est prévue pour les pétroliers qui seront ravitaillés en GNL. En plus de ces systèmes, il y a aussi la construction d'une salle de contrôle pour les opérations de soutage de GNL, qui permet de surveiller les services qui sont offerts tant côté mer que côté terre.

### 6.2.3. Aspects du projet, d'autorisation et de construction.

L'hypothèse de projet est actuellement en phase préliminaire. Du point de vue de la construction, des problèmes critiques se posent: le quai technique a actuellement des limites d'utilisation. Ces limitations sont dues aux manœuvres navales de croisières et de porte-conteneurs qui ont lieu dans cette zone, qui impliquent la nécessité de libérer les amarres des quais face à l'Avamporto, y compris celui de Calata Oli Minerali. Le même problème de construction se pose pour l'approche vers le Nord, utilisée par les navires qui grimpent au terminal.

S.A.A.R. Le navire amarré dans cette approche réduirait la largeur de passage utile entre le quai et la jetée. O.A.R.N. La construction de cette usine permettrait aux unités navales de GNL d'accoster à l'extérieur. L'intérieur ne serait utilisé que pour le ravitaillement des petits navires. Côté terre, la construction du dépôt de GNL augmenterait le flux de camions à l'intérieur du port, entraînant une congestion aux portes du port. En effet, la présence de méthaniers interférerait avec la présence de

pétroliers alimentés par des carburants traditionnels. En outre, le trafic terrestre serait concentré sur le péage de Genova Ouest et sur le carrefour de San Benigno. Pour la réalisation du projet en question, il est nécessaire d'évaluer l'éventuelle restauration de la piste située dans la zone où se trouve le Rugna Park, une zone actuellement utilisée comme point de chargement pour le vrac liquide.

#### **6.2.4. Emplacement.**

D'un point de vue géographique, le gisement de GNL serait situé dans la zone de Calata Oli Minerali, aux coordonnées suivantes: Latitude 44 ° 24'02.5 "N et Longitude 8 ° 54'58.9" E. Selon l'hypothèse planification, un espace dédié au stationnement des camions-citernes en attente est prévu, qui serait situé à l'ouest de l'usine, c'est-à-dire derrière. La présence du gisement de GNL serait replacée dans un contexte délicat au regard de l'aspect du mélange des différents types de carburants qui nécessiterait quelques précautions quant à la refonte du plan de l'usine en général. En outre, la présence future probable d'un terminal à conteneurs dans la zone de Calata Bettolo nécessite l'évaluation de toute interférence en ce qui concerne la manutention et le stockage des conteneurs de marchandises dangereuses.

#### **6.2.5. Procédures de fourniture pour le bunker.**

Il n'y a pas d'informations sur le projet concernant la façon de fournir le bunker au dépôt de GNL.

#### **6.2.6. Utilitaires et distribution.**

Le document de référence rend compte des estimations et considérations faites par Assocostieri et Confitarma selon lesquelles les principaux utilisateurs de GNL, utilisé comme source alternative de propulsion, seraient, au moins dans un premier temps, les compagnies maritimes qui assurent des services passagers réguliers. Le port de Gênes est l'un des principaux ports au niveau national en ce qui concerne le secteur du Ro-Pax et des croisières, il est donc raisonnable de penser que l'introduction d'une usine capable de fournir des navires GNL au sein du port pourrait bénéficier d'une zone de chalandise importante.

On estime qu'après une phase initiale de conversion et d'ajustement de la consommation de GNL d'une décennie, la demande maximale dans le port de Gênes devrait se stabiliser autour de 1 600 000 m<sup>3</sup>. Confitarma identifie le rôle du port génois en tant que hub GNL dans un hypothétique réseau de distribution entre les ports liguriens de Savone, Gênes et La Spezia. Les auteurs du document de référence soulignent également l'importance de l'utilisation du GNL, non seulement au service du secteur maritime, mais aussi en ce qui concerne les installations portuaires et les poids lourds terrestres.

#### **6.2.7. Dimensionnement et indicateurs de performance clés (KPI).**

La construction des 4 réservoirs de GNL à Calata Oli Minerali prévoit l'occupation d'une superficie d'environ 30 000 m<sup>2</sup> dans les zones déjà utilisées pour les opérations de soutage. La capacité globale des réservoirs atteint 20 000 m<sup>3</sup>. Le service d'avitaillement des navires supposé dans le document varie en fonction de l'unité de réception. Les méthaniers d'une capacité de réservoir comprise entre 5 000 et 7 000 m<sup>3</sup> ne pourront s'approcher qu'en dehors du quai en raison de contraintes dimensionnelles et d'accessibilité nautique. D'autres navires, par contre, ont tendance à être utilisés pour l'avitaillement (barges) et avec une capacité réduite de 250 m<sup>3</sup>, pourront s'approcher de l'installation plus près de l'installation, accédant au bassin d'eau négligé par l'installation elle-même. La fourniture de services d'avitaillement en GNL sera réalisée dans le respect des contraintes dimensionnelles suivantes:

- Dimensions des réservoirs méthaniers de 5 000 à 7 000 m<sup>3</sup>.
- Capacité des navires de soutage de GNL 250 m<sup>3</sup>.

**Interreg**UNION EUROPEENNE  
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Pour Calata Olii Minerali, il a été jugé approprié pour l'hypothèse du soutage vers un navire de référence ayant les caractéristiques suivantes:

<b>Capacità</b>	6.600 m <sup>3</sup>
<b>Serbatoi</b>	2 pcs di tipo "C" di uguale capacità
<b>Temperatura di trasporto</b>	minimo -163 °C
<b>Lunghezza f.t.</b>	106,0 m circa
<b>Larghezza f.t</b>	18,6 m circa
<b>Altezza costruzione</b>	11,7 m circa
<b>Pescaggio max estivo</b>	5,6 m circa
<b>Velocità (85% MCR – 15% sea margin)</b>	13,5 nodi
<b>Rata di scarica – bunkeraggio</b>	500 m <sup>3</sup> /h
<b>Rata di scarica - deposito costiero</b>	1000 m <sup>3</sup> /h
<b>Rata di caricazione con vapori di ritorno</b>	2000 m <sup>3</sup> /h
<b>Numero di approdi mensili previsti a regime (ipotizzando circa 120.00 tons. annue)</b>	3,5
<b>Permanenza in banchina</b>	min. 10 ore – max. 16 ore

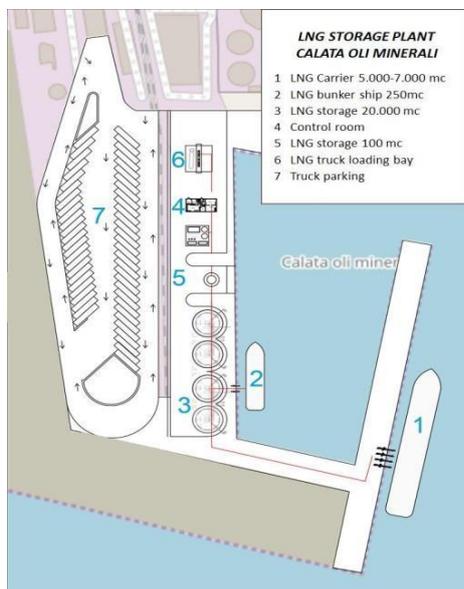
#### 6.2.8. *Layout et processus.*

La disposition de projet supposée dans le scénario final du processus de mise en œuvre du système fournit:

- côté mer, deux postes d'amarrage dont un à l'intérieur du bassin de Calata Oli Minerali et un à l'extérieur pour les navires qui ne peuvent accéder au premier en raison de contraintes dimensionnelles,
- côté terre, quatre réservoirs d'une capacité totale de 20 000 m<sup>3</sup> et un réservoir supplémentaire d'une capacité de 100 m<sup>3</sup>; Il y a aussi une salle de contrôle pour surveiller les opérations, une zone de chargement / déchargement de GNL pour les pétroliers et une aire de stationnement pour les véhicules terrestres derrière le dépôt.

Cependant, afin de garantir que les opérations d'avitaillement se déroulent dans des conditions sûres, le schéma de projet devra être révisé au cours de l'évaluation des risques, car la conformation actuelle pourrait comporter des risques dus à la manipulation des différents carburants fusionnés en un seul pôle, ce qui rend plus difficile l'obtention de l'autorisation pour l'exploitation efficace de l'installation.

### LNG storage plant-Calata Oli Minerali



#### **6.2.9. Procédures de sûreté et de sécurité.**

Il n'y a aucune information sur le projet concernant les procédures de sûreté et de sécurité.

#### **6.2.10. Contraintes environnementales.**

La mise en œuvre de l'hypothèse de projet de référence pourrait entraîner des problèmes d'un point de vue environnemental, car cette zone serait utilisée pour la manipulation de différents types de carburant. Malgré l'inquiétude susmentionnée, il convient de noter que ce danger a été discuté dans l'évaluation des risques, aboutissant à la conclusion qu'une refonte du plan de projet est nécessaire, afin d'atteindre les distances minimales pour la réalisation des opérations de soutage de GNL conditions de sécurité maximale.

### **6.3. Business cases port de Savona-Vado Ligure.**

Zone d'intérêt: Ligurie.

Auteur: UNIGE-CIELI.

Port/Business case: Savona-Vado Ligure - Dépôt en tête de plateforme.

Photo ou Rendering des zones de soutage et de stockage de GNL (Vado Ligure – Dépôt en tête de plateforme)



TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



### Vado Gateway - utilisation prévue actuelle



#### **6.3.1. Introduction.**

L'hypothèse préliminaire, présentée dans le rapport «Small Scale LNG Deposit - Preliminary Hypotheses» (2018), édité par A. Vienna et proposée par Eni Spa, Autogas Group, Fratelli Cosulich Spa et Ottavio Novella Spa, prévoit la construction d'un gisement de GNL à la tête de la plate-forme du Port de Vado Ligure (SV) spécialisée dans le secteur fruitier dont elle représente le plus important port de débarquement de la Méditerranée. Le projet consiste en la construction d'un dépôt composé de 2 réservoirs de 200 m<sup>3</sup> et 10 de 1.000 m<sup>3</sup> auxquels s'ajoutent 2 pontons d'une capacité de 5 000 m<sup>3</sup> chacun. La superficie totale utilisée pour la construction du gisement au sol est d'environ 1,65 hectare compte tenu de l'utilisation d'une bande aussi longue que toute la tête du quai de 30 mètres de large joint à la bande adjacente de 25 mètres.

#### **6.3.2. Description du système.**

L'hypothèse de conception du stockage en haut de la plate-forme prend la forme d'un stockage au sol constitué de 2 cuves flanquées de 2 pontons. Le méthanier et le demi-bunker sont amarrés dans la même plateforme et les pontons sont situés dans une structure représentée sous la forme d'une jetée ou d'un brise-lames ayant une fonction de protection. Les espaces aquatiques sont alors en outre occupés sur une longueur dictée par la tête de plateforme en question et une largeur donnée par la distance du quai. Pour la réalisation du gisement, un développement en 3 phases est prévu comme suit:

1. Phase initiale (400 m<sup>3</sup>): 2 réservoirs de 200 m<sup>3</sup>;
2. Phases intermédiaires (environ 10 000 m<sup>3</sup>): + 1 / + 2 pontons de 5 000 m<sup>3</sup> chacun;
3. Phase à pleine capacité (environ 20 000 m<sup>3</sup>): + 10 réservoirs au sol de 1 000 m<sup>3</sup>

#### **6.3.3. Aspects de projet, d'autorisation et de construction.**

L'hypothèse préliminaire a été proposée dans le rapport "Small Scale LNG Deposit" (2018) édité par A. Vienna d'Eni Spa, Autogas Group, Fratelli Cosulich Spa et Ottavio Novella Spa.

#### **6.3.4. Emplacement.**

L'hypothèse actuelle de localisation de l'installation GNL est envisagée en tête de plateforme dans le port de Vado Ligure, une zone actuellement dédiée à l'activité conteneurs via le nouveau terminal hauturier Vado Gateway, géré par la société AMP Terminals Vado Ligure Spa, qui représente aujourd'hui l'un des terminaux les plus avancés technologiquement de la Méditerranée. Les coordonnées GPS de la zone, fournies par Google Earth sont: Latitude 44 ° 16'12 "N et Longitude 8 ° 27'02" E.

#### **6.3.5. Procédures de fourniture pour le bunker.**

La méthode d'acquisition du bunker pour l'hypothèse préliminaire considérée est représentée par l'utilisation d'un méthanier ou d'un navire de soutage spécifique mandaté par la société norvégienne Stolt-Nielsen Gas. La conception des deux navires en cours de construction a été réalisée par la société Marine Engineering Services (MES) basée en Italie, à Trieste et la construction des citernes de gaz par la société Gas & Heat, à Pise. Le chantier naval Keppel à Nantong en Chine a été choisi pour la construction de deux navires avec les caractéristiques dimensionnelles suivantes:

- Length O.A.: abt.118.40 m
- Length B.P.: abt. 111.70 m
- Breadth MLD: abt. 18.60 m
- Depth: abt. 9.20 m
- Design draft: abt. 5.50 m
- Volume Cargo Tanks: abt. 7500 cbm
- Cargo tanks: 2
- Service Speed: abt. 13.5 knots
- Power: abt. 3000 kW
- Crew: 18

Le méthanier sera amarré à la même plate-forme qui s'étend sur environ 35 à 40 m de la tête du quai.

#### ***6.3.6. Utilitaires et distribution.***

Les utilisateurs potentiels de l'installation GNL du port de Vado Ligure concernent notamment le secteur des ferries qui est l'une des principales activités du bassin à travers l'offre de liaisons régulières vers la Corse.

#### ***6.3.7. Dimensionnement et indicateurs de performance clés (KPI).***

Le stockage au sol se compose de 2 cuves de 200 m<sup>3</sup> et de 10 cuves de 1 000 m<sup>3</sup>, auxquelles s'ajoutent 2 pontons d'une capacité de 5 000 m<sup>3</sup> chacun. En ce qui concerne la longueur, on parle respectivement d'environ 23 m et 48,5 m, tandis que le diamètre attendu est de 3,8 m et 5,8 m. Une alternative possible a également été envisagée consistant en 8 cuves de 1 225 m<sup>3</sup> divisées chacune en deux rangées, pour favoriser l'occupation d'une surface similaire mais avec une plus grande extension, de manière à ne pas permettre l'optimisation de la zone. Les cuves sont toutes de type C à double paroi en acier inoxydable, et chaque bloc de 5 occupe une surface nette d'environ 45 mx 50 m à laquelle il faut ajouter l'espace pour les collecteurs et les différents équipements qui gèrent le boil-off. Les pontons mesurent environ 25-30 mx 60 m, avec un tirant d'eau de 5-6 m. Le gisement projeté, d'une taille de 10,00 m<sup>3</sup>, repose sur toute la tête de quai d'une largeur de 30 m et sur une bande adjacente de 25 m, occupant une superficie totale de 120 x 50 m.

#### ***6.3.8. Layout et processus.***

L'hypothèse de projet prévoit un gisement de 10 000 m<sup>3</sup>. Ce dépôt se compose de 12 réservoirs plus deux pontons et est situé sur toute la tête de quai d'une largeur de 30 m et sur une bande adjacente de 25 m, occupant une superficie totale de 120 x 50 m.

### 6.3.9. Procédures de sûreté et de sécurité.

En ce qui concerne les procédures de sûreté et de sécurité, toutes les mesures relatives à la criticité du système doivent être prises en compte. En particulier, il est nécessaire d'évaluer la capacité des lignes de GNL entre l'amarrage et les réservoirs pour rendre acceptables les distances entre les points critiques, avec une plus grande sécurité donnée par d'éventuels murs de protection en béton.

### 6.3.10. Contraintes environnementales.

Il faut prendre en compte les rejets accidentels de nuages gazeux qui pourraient engendrer des critiques environnementales tant pour la plateforme logistique que pour le bassin d'accès au port, étant entendu que les zones habitées sont particulièrement éloignées.

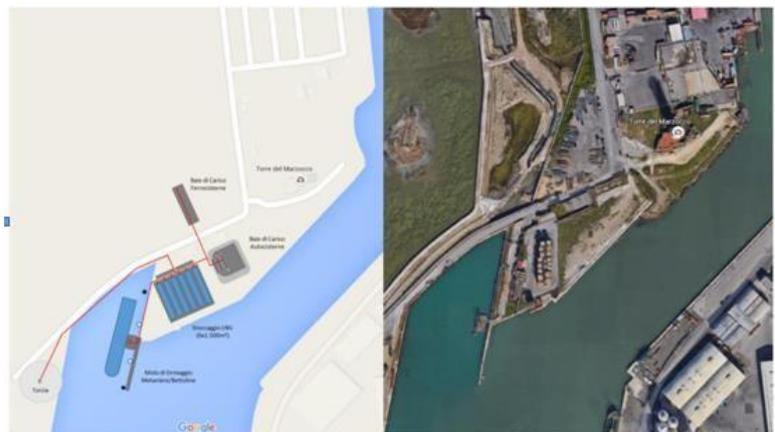
## 6.4. Business cases - port de Livourne.

Zone d'intérêt: Toscane.

Autore: Università di Pisa – DESTEC.

Port/Business case: Port de Livourne.

### Photo ou Rendering des zones de soutage et de stockage de GNL (port de Livourne)



### 6.4.1. Introduction.

Le projet, dont le coût est estimé à environ 45 M €, est cofinancé pour environ 7,8 M € par la Commission européenne, dans le cadre du programme européen "GAINN4SEA - GAINN far South Europe Maritime LNG roll-out (TEN tec number: 2017\_IT\_TM\_0066\_W) "visant le développement du GNL en Europe ainsi que le financement des investissements dans les infrastructures et les véhicules liés au GNL. Pour cette contribution, la société LLT a signé une convention de subvention avec l'INEA (Agence exécutive pour l'innovation et le réseau - Agence gouvernementale de la Commission européenne) sur la base de laquelle, en utilisant les garanties émises par les membres fondateurs de LLT, un opérateur bancaire / assurance de premier plan en 2019 un emprunt d'un montant égal à la contribution européenne (7,8 M €) a été reconnu avec tirage différé.

### 6.4.2. Description du système.

L'activité principale de Livorno LNG Terminal S.p.A. (ci-après LLT) sera donc le stockage de gaz naturel cryogénique (code ATECO 43.22.02) avec une quantité maximale de 2000 tonnes égale à 4500 m<sup>3</sup> de GNL. L'ingénierie a été développée par la société Chart Ferox (CZ) qui conçoit et fabrique plus de 1000 réservoirs cryogéniques par an depuis 1970 et est active dans le secteur spécifique du stockage de GNL depuis 1999 avec de nombreux projets similaires.

Le type SSLNG (Small Scale LNG) est d'un type particulièrement simple car il ne prévoit pas de circuits de liquéfaction ou d'évaporation à grande échelle puisque le gaz naturel entre et sort du gisement à l'état liquide à basse température (ex. exception d'une quantité minimale de gaz naturel en raison de l'évaporation naturelle du GNL pour lequel un utilisateur local a déjà été identifié.

#### **6.4.3. Aspects de projet, d'autorisation et de construction.**

L'usine, qui sera construite sur une superficie totale d'environ 16300 m<sup>2</sup>, aura les caractéristiques suivantes:

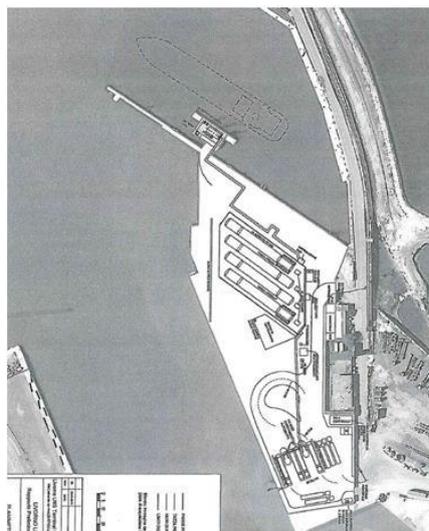
- a. sera construit en partie sur la zone appartenant à l'Autorité du système portuaire de la mer Tyrrhénienne du Nord, située dans le port de Livourne sur la Calata del Marzocco, destinée à l'exercice de l'activité de stockage de latex de caoutchouc et donnée en concession à Neri Depositi Costieri en vertu de l'acte inscrit au registre des concessions de l'Autorité du système portuaire de la mer Tyrrhénienne du Nord (anciennement l'Autorité portuaire de Livourne)
- b. 64 de l'année 2015 (Répertoire n ° 65) et renouvelé, à l'expiration (31/12/2018) chez Neri Depositi Costieri.
- c. utilisera le n ° de quai pour la réalisation des services portuaires liés aux activités susmentionnées. 13, au Darsena Petroli du port de Livourne ainsi que dans la zone située en face dudit quai, concédé à Eni avec un acte inscrit au registre des concessions de l'Autorité du système portuaire de la mer Tyrrhénienne du Nord (anciennement l'Autorité portuaire de Livourne) au no. 97 de l'année 2016 (Répertoire n. 115), valable jusqu'au 31 décembre 2022.

À ce jour, la procédure d'EIE n'a pas encore été lancée au ministère de l'Environnement.

#### **6.4.4. Emplacement.**

Il sera en partie construit sur la zone appartenant à l'autorité du système portuaire de la mer Tyrrhénienne du Nord, située dans le port de Livourne sur la Calata del Marzocco et utilisera le quai n. 13, au Darsena Petroli du port de Livourne ainsi que la zone en face du quai.

#### Planimetria deposito Porto di Livorno

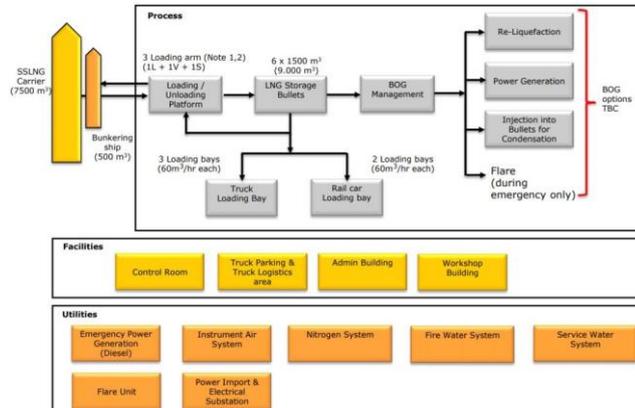


#### **6.4.5. Procédures de fourniture pour le bunker.**

L'usine sera approvisionnée par des navires de dimensions comprises entre 3000 et 7500 mètres cubes.

#### 6.4.6. Utilitaires et distribution.

L'utilisateur et le système de distribution sont expliqués dans la figure suivante.



#### 6.4.7. Dimensionnement et indicateurs de performance clés (KPI).

L'usine aura une capacité de 5 000 mètres cubes (initialement prévue pour 9 000 mètres cubes) de stockage de GNL et sera composée de 4 réservoirs horizontaux de 1250 mètres cubes pour un throughput annuel de 150.000 tonnes; l'usine sera équipée de 4 abris de chargement capables d'alimenter de 20 à 25 camions citernes par jour.

#### 6.4.8. Procédures de sûreté et de sécurité.

- 2018/12/20 LLT attribuée à Eidos le contrat d'étude des aspects de sécurité pour les obligations visées dans la législation Seveso III.
- 2019/04/16 Rapport préliminaire de sécurité remis pour la demande de dépôt d'habilitation de faisabilité aux fins de Seveso III à CTR Toscana.
- 2019/04/16 Livré au projet de protection contre les incendies, inclus dans le rapport préliminaire de sécurité, pour évaluation du projet aux fins du décret présidentiel 151/2011 au commandement régional des pompiers de Toscane (et ensuite aux pompiers de Livourne).

#### 6.4.9. Contraintes environnementales.

Notez au moins un problème critique en raison de la proximité de Torre Marzocco, Surintendance du patrimoine culturel.

### 6.5. Business cases - port de Cagliari.

Zone d'intérêt: Sardaigne.

Auteur: Unica- CIIREM

Port/Business case: Port de Cagliari, Projet ISGAS Terminal GNL dans le port du canal de Cagliari.



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Photo ou Rendering des zones de soutage et de stockage de GNL (port du canale de Cagliari)



Rendering zones de soutage et de stockage de GNL Porto Canale di Cagliari



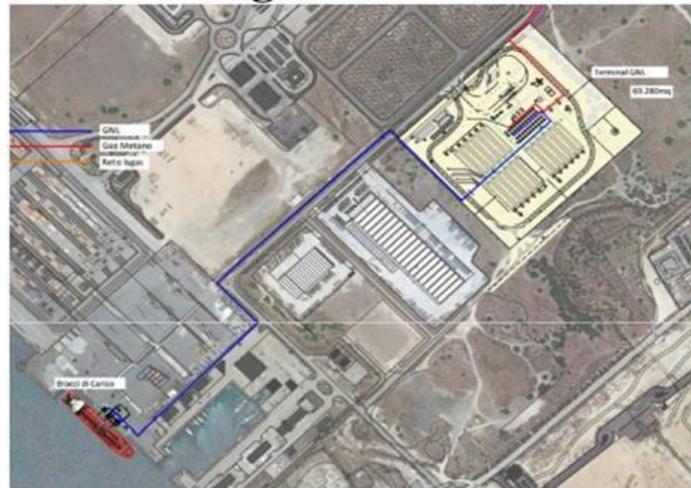
**6.5.1. Introduction.**

Le projet proposé par ISGAS consiste en la construction d'un terminal GNL dans le port de Cagliari. L'usine était située dans une zone qui intercepte le tracé des réseaux de transport de gaz GPL existants de la vaste zone de Cagliari. L'objectif principal est de garantir aux utilisateurs civils et industriels en Sardaigne la possibilité d'utiliser le gaz méthane comme source d'énergie alternative à celles déjà présentes sur l'île. Le projet proposé s'inscrit dans les lignes directrices du plan énergétique environnemental de la région de Sardaigne et celles de l'accord-cadre de programme pour la méthanisation de la Sardaigne.

Le choix de conception adopté est également en pleine synergie avec les directives européennes et nationales, sur la construction d'infrastructures pour carburants alternatifs (directive 2014/94 / UE et décret législatif 257/2016). Le projet ISGAS Terminal prévu dans les zones portuaires du canal vise à devenir l'un des principaux hubs de la Méditerranée pour le ravitaillement des navires utilisant le GNL comme carburant pour le transport maritime. Les infrastructures sont en effet conçues pour créer un «Bunkering Point» efficace (navire à navire, camion à navire, ou tuyau à navire). Le promoteur du projet est ISGAS Energit Multiutilities S.p.A, société concessionnaire, sous le régime exclusif, du service de distribution de gaz dans les communes de Cagliari, Oristano et Nuoro. Il compte actuellement plus de 21 000 utilisateurs actifs. ISGAS s'occupe de la distribution et de la vente d'air propane (entièrement remplaçable par du méthane) à travers des réseaux canalisés dans les différentes zones municipales.



### Encadrement sur l'orthophoto de la plante



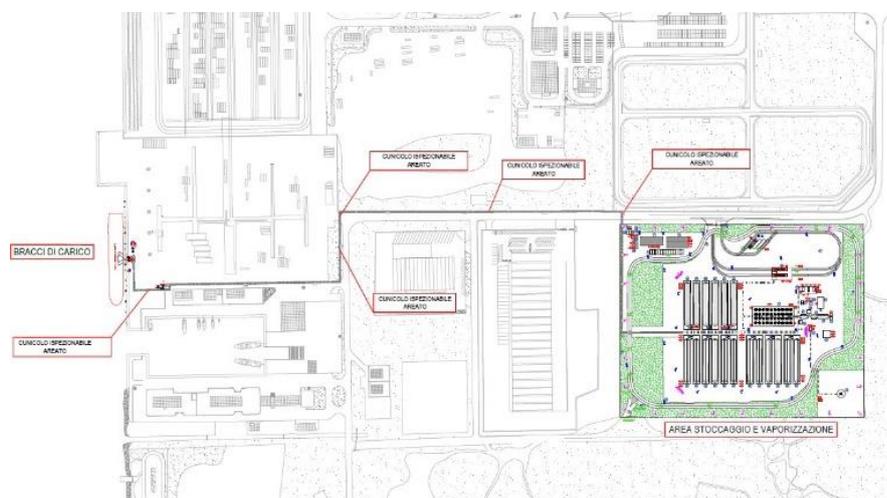
#### **6.5.2. Description du système.**

Le Terminal comprendra une structure à quai pour le raccordement et le déchargement du GNL des méthaniers, un complexe de canalisations cryogéniques pour le transport de fluide dans la zone de l'usine, un système de stockage, de pompage et de regazéification du GNL. Dans le Terminal, l'installation de:

- 18 réservoirs cryogéniques;
- 9 groupes de pompage;
- 40 vaporisateurs d'air ambiant (AAV);
- 1 station de filtrage, de mesure et d'odorisation du gaz naturel préparatoire à son introduction dans les réseaux de transport.

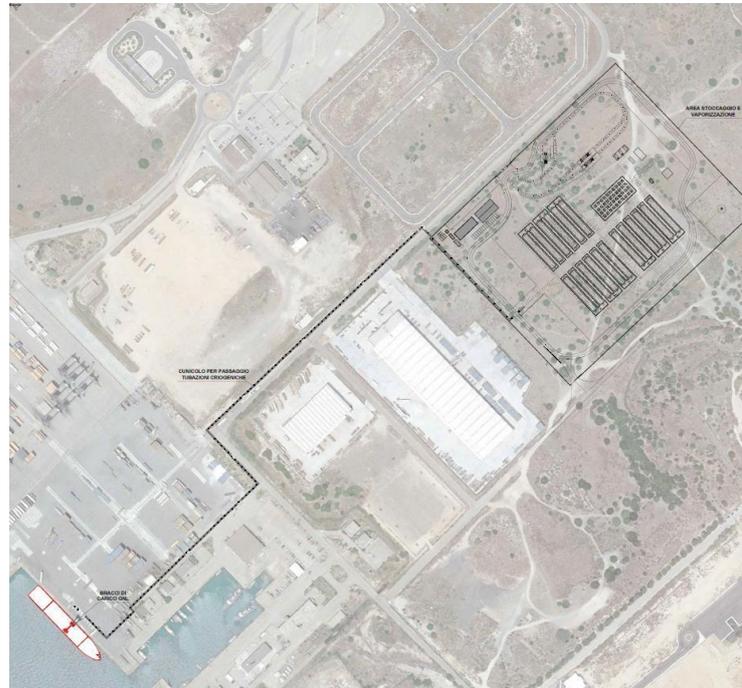
À travers les quais de chargement des pétroliers, il sera possible de transporter du GNL par route dans toute la région, ou de faire le plein de navires, mettant ainsi en œuvre les directives européennes sur l'utilisation du GNL comme carburant pour les bateaux.

### Plan de l'usine ISGAS





Plan sur l'orthophotographie de l'usine ISGAS



**6.5.3. Aspects de projet, d'autorisation et de construction.**

État du projet et de l'autorisation

<b>Valutazione di Impatto Ambientale</b>	
<b>Livello Progettuale</b>	Progetto definitivo
<b>Stato Procedura</b>	Parere CTVIA emesso, in attesa parere MIBACT
<b>Avvio Procedura</b>	19/06/2017
<b>Soggetto Autorizzante</b>	Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare

État de mise en œuvre

<b>Data prevista avvio cantieri</b>	Non disponibile
<b>Data prevista chiusura cantieri</b>	Non disponibile
<b>Tempi di costruzione:</b>	10 mesi
<b>Descrizione delle fasi di realizzazione</b>	Le attività di realizzazione dell'opera sono previste in parallelo con l'utilizzo simultaneo di più squadre capaci di procedere nello stesso arco temporale. La realizzazione dell'impianto potrebbe anche essere prevista in due fasi distinte. In una prima fase verrebbe realizzato un impianto con una capacità di 6 serbatoi criogenici. In una fase successiva verrebbe realizzato il secondo lotto costituito dagli altri 12 serbatoi. Tuttavia in una ipotesi realizzativa comprendente un primo lotto si terrebbe conto di tutte le predisposizioni necessarie per la realizzazione delle restanti parti dell'impianto.

#### 6.5.4. *Emplacement.*

L'usine sera située dans le port industriel de Cagliari. Les coordonnées du centre de gravité de la zone de l'usine sont E = 1507402,7727; N = 4340468.3092 selon le référentiel Gauss Boaga (Rome Monte Mario). La zone a été historiquement créée à l'intérieur de l'étang de Santa Gilla lors des travaux de construction du port industriel lui-même dans les années 1960. Elle est en fait principalement constituée de décharges.

#### Emplacement de l'usine ISGAS

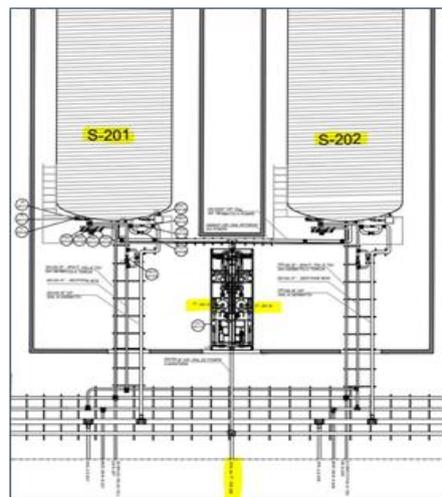


La position stratégique dans laquelle se trouve l'usine permet aux pétroliers cryogéniques qui traverseront l'usine d'accéder facilement à la zone portuaire. L'usine est en fait située à seulement 100 mètres de la route nationale 195, à partir de laquelle à travers les routes SS-195 Racc. et le S.S. 554, il est possible d'atteindre la route principale SS131 reliant la route en Sardaigne. La position stratégique du port de Canale n'est pas seulement due à l'excellente liaison routière mais aussi à la situation avantageuse dans le contexte du bassin méditerranéen.

#### 6.5.5. *Procédures de fourniture pour le bunker.*

Le chargement de GNL sur les navires se fera par l'utilisation de deux pompes de surpression P201A / B reliées aux réservoirs S-201-S-202.

#### Schéma des réservoirs et pompes de surpression



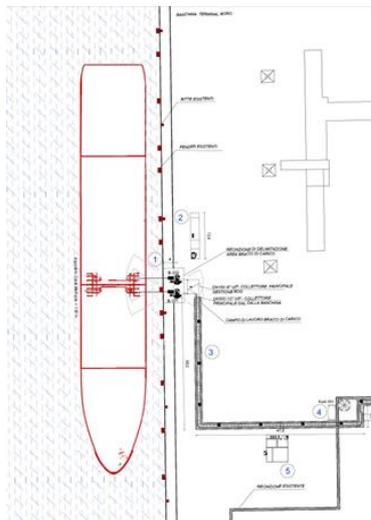
Les pompes de surpression de GNL tirent des réservoirs par des tuyaux de 6", pour le relancer à la pression appropriée dans le collecteur principal de 6" placé à la sortie des réservoirs.

Pendant le cycle de fonctionnement normal, les pompes envoient le GNL vers le quai et par le bras de chargement BC-101, en utilisant la même ligne de déchargement que les navires mais dans le sens opposé, faire le plein.

Les pompes seront installées à côté des réservoirs et seront couplées à un fonctionnement en alternance. Les mêmes pompes de configuration adaptée permettent la recirculation du GNL jusqu'au quai pour le refroidissement des tuyaux de refoulement.

Les pompes P-201A / B sont dimensionnées en configuration alternée sur la capacité d'alimentation maximale des bateaux de l'ordre de 250 mètres cubes / h à une pression maximale de 5 bars. Le temps de ravitaillement sera évidemment lié à la taille du réservoir du navire.

### Quai de GNL pour le chargement et le déchargement



#### **6.5.6. Utilitaires et distribution.**

Une fois en service, le terminal sera en mesure de fournir l'un des services de soutage naval les plus importants de la Méditerranée occidentale. Le projet vise également à créer une usine capable de distribuer et de répondre à la consommation de GNL des utilisateurs civils et industriels envisagée par la Région Sardaigne dans la zone métropolitaine de Cagliari. Les utilisateurs qui peuvent être desservis par le terminal GNL via le réseau de transport ISGAS sont: Assemmini, Cagliari, Capoterra, Decimomannu, Elmas, Monserrato, Quartu Sant'Elena, Quartucciu, Selargius, Settimo San Pietro, Sinnai et Sestu, pour un total de 400428 habitants. Afin d'atteindre d'autres zones de la Sardaigne qui ne seront pas connectées au réseau de transport régional ou à celui de la vaste zone de Cagliari, une zone appelée «quais de chargement» sera aménagée dans laquelle des camions-citernes cryogéniques, destinés au transport de GNL vers le de consommation sur le territoire régional, pourra faire le plein. Deux réservoirs avec deux pompes à fonctionnement alterné seront dédiés à ce service.

Ce système de transport de gaz naturel liquéfié permettra également la création de petits systèmes locaux de stockage et de regazéification, c'est-à-dire un type d'usine qui se propage en fonction de la diffusion du GNL et des technologies associées.

#### **6.5.7. Dimensionnement et indicateurs de performance clés (KPI).**

Le volume total des 18 réservoirs est égal à 22 068 m<sup>3</sup>. Le terminal a été conçu et dimensionné en tenant compte des aspects suivants:

- amarrage des méthaniers jusqu'à une capacité maximale de 15 000 m<sup>3</sup> (7 500 m<sup>3</sup> pour le premier

lot fonctionnel);

- capacité de stockage utile en cuves fixes égale à environ 22 000 m<sup>3</sup> de GNL (1226 m<sup>3</sup> par cuve, 18 cuves au total);
- approvisionnement minimum estimé de 360000 m<sup>3</sup> / an de GNL (2 charges mensuellement à partir de 15 000 m<sup>3</sup>);
- GNL transféré par pétroliers / barges égal à 120 000 m<sup>3</sup> / an;
- GNL regazéifié et envoyé sur le réseau à hauteur de 240 000 m<sup>3</sup> / an;
- capacité de regazéification de 832 millions de m<sup>3</sup> / an.

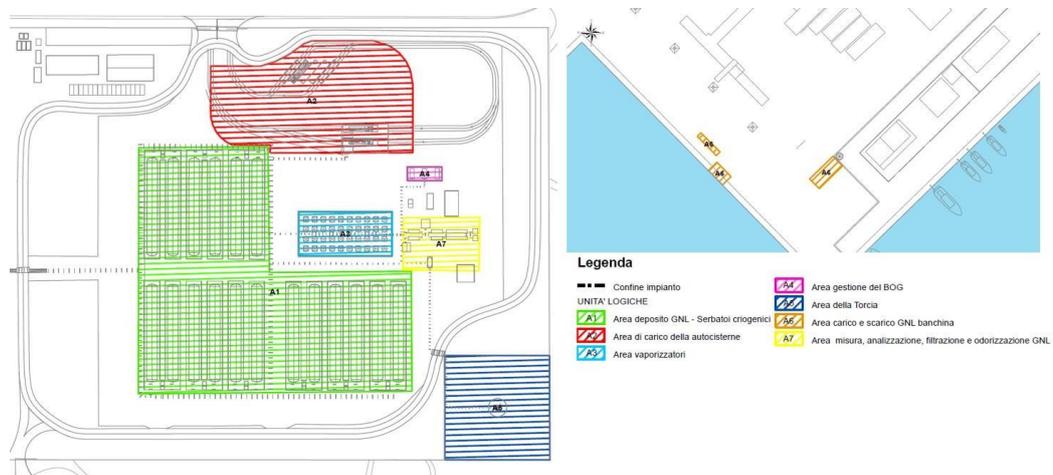
#### 6.5.8. *Layout et processus.*

L'usine comprendra 7 macro-zones: une zone de chargement et de déchargement de GNL avec bras de chargement; une zone de stockage et de pompage de GNL; une zone de vaporisateur; une zone de quai de chargement pour les pétroliers; une zone de gestion BOG; une zone de torche; une zone de filtration, de mesure et d'odorisation du méthane.

Le projet prévoit l'arrivée de petits transporteurs de gaz (environ 15 000 m<sup>3</sup>) qui amarreront au quai dédié, et transféreront le GNL vers les citernes par des bras de chargement.

Les opérations de chargement des pétroliers peuvent être effectuées simultanément avec les méthaniers ou les opérations de soutage. Dans le premier cas, ils permettront le déchargement des navires assurant une capacité de transfert maximale allant jusqu'à 1000 m<sup>3</sup> / h, tandis que pour les phases de soutage, le throughput maximal sera de 250 m<sup>3</sup> / h.

#### Unités de l'usine ISGAS





**Interreg**



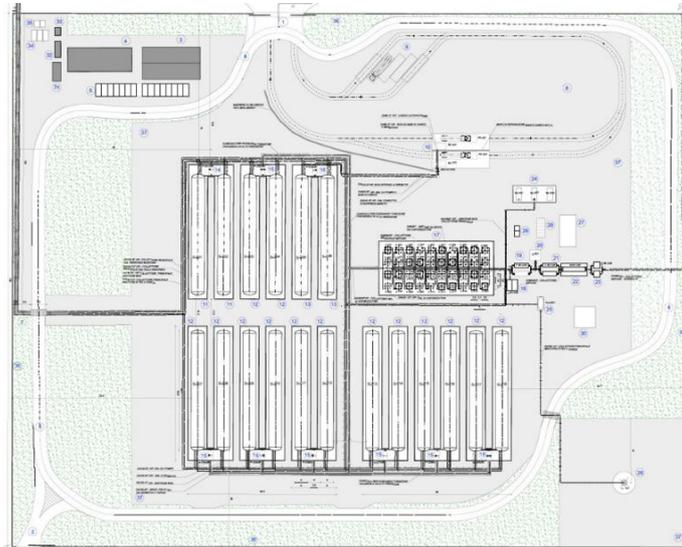
UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



### Plan détaillé de l'usine



#### **6.5.9. Procédures de sûreté et de sécurité.**

Le système d'arrêt d'urgence (Emergency Shutdown System ESD) fonctionne parallèlement au système de contrôle distribué (DCS) pour intervenir en cas de dysfonctionnement ou d'erreur de fonctionnement, garantissant la sécurité du système. Pour minimiser les conséquences d'un incendie, un système de dépressurisation d'urgence automatique est prévu pour le réservoir concerné et celui le plus proche, dans le but de maintenir le confinement le plus rapidement possible.

L'arrêt total ou partiel de l'installation peut être déclenché soit par des séquences automatiques, activées par le dépassement des conditions de fonctionnement de l'installation établies en phase de conception, soit par une activation manuelle via des boutons de verrouillage à disposition des opérateurs, positionnés sur le terrain et / ou salle de contrôle, au besoin.

#### **6.5.10. Contraintes environnementales.**

Le projet s'inscrit dans la réserve naturelle de Santa Gilla et l'oasis de protection de la faune de Santa Gilla près de la zone SIC ITB040023 "Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla" et la zone SPA ITB044003 "Étang de Cagliari".

Le plan de gestion concernant la zone SIC ITB040023 "Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla" et la zone SPA ITB044003 "Stagno di Cagliari" prend également en considération les zones protégées précédemment indiquées de la zone, et en particulier:

- l'oasis permanente de protection et de capture de la faune "étang de Santa Gilla et Capoterra" conformément à la loi régionale 23/98; • la zone Ramsar «Stagno di Santa Gilla» (code Ramsar: 3IT018);
- la Réserve Naturelle Régionale proposée en application de la L.R. 31/89;
- le site d'intérêt communautaire ITB040023 «Stagno di Cagliari, Saline di Macchiareddu, Laguna di Santa Gilla», désigné conformément à la directive 92/43 / CEE «Habitat»;
- la zone de protection spéciale ITB044003 «Stagno di Cagliari» désignée conformément à la directive 79/409 / CEE «oiseaux sauvages»;
- la zone IBA (Zone importante pour les oiseaux) «Étangs de Cagliari» (code n ° 188).

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

Quant aux plans de gestion SCI et SPA de la zone de l'étang de Cagliari, il ne semble pas y avoir d'éléments contrastant avec la mise en œuvre du projet. En fait, la zone d'intérêt ne fait pas partie des zones SIC et SPA identifiées pour la grande zone. Le projet n'affecte directement aucun site du réseau Natura 2000 et ne présente aucune interférence avec les plans de gestion examinés.

#### **6.6. Business cases - port de Oristano.**

Zone d'intérêt: Sardaigne.

Auteur: Unica-CIREM.

Port/Business case: Port de Oristano, Installation de stockage, regazéification et distribution de GNL proposée par IVI Petrolifera dans le port d'Oristano - Santa Giusta.

##### Rendering des zones de soutage et de stockage de GNL dans le port d'Oristano Santa Giusta: détail 1



##### Rendering des zones de soutage et de stockage de GNL dans le port d'Oristano Santa Giusta: détail 2.





**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**TDI RETE-GNL**



Rendering des zones de soutage et de stockage de GNL dans le port d'Oristano Santa Giusta: détail 3.



**6.6.1. Introduction.**

La proposition de projet faite par IVI Petrolifera S.p.A. est décrite ci-dessous. qui a l'intention de construire un dépôt côtier au sein du port d'Oristano pour le stockage et la distribution de GNL d'une capacité d'environ 9000 m<sup>3</sup>.

Encadrement sur l'orthophoto de l'usine



Le projet est prévu dans la zone du port industriel d'Oristano, inclus dans le territoire municipal de Santa Giusta, dans la province d'Oristano, et inséré dans la zone industrielle gérée par le Consortium industriel provincial d'Oristano (CIPOR), un organisme économique public favorise la localisation et le développement des entreprises dans l'agglomération industrielle d'Oristano. Le projet comprend la mise en place d'une chaîne d'approvisionnement qui comprend l'approvisionnement en GNL par des pétroliers, le stockage dans l'usine et la distribution ultérieure par voie terrestre par pétroliers et par mer par bateau (barges). Le stockage au sol impliquera le stockage de GNL jusqu'à un maximum d'environ 8 000 m<sup>3</sup>. En effet, le volume total autorisé sera tel qu'il permette, en cas de problème sur un réservoir, de transférer le contenu d'un réservoir vers les autres. Le volume total autorisé sera donc d'environ 8000

TDI RETE-GNL

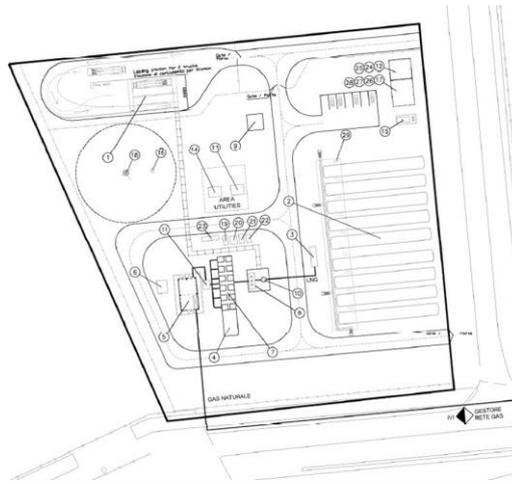
Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

m<sup>3</sup> pour les 9 réservoirs.

#### 6.6.2. Description du système.

- Le gisement côtier sera conceptuellement divisé en zones fonctionnelles énumérées ci-dessous:
- Zone d'accostage et de transfert de GNL, qui comprend les infrastructures et dispositifs d'amarrage des méthaniers et barges, déjà existants, ainsi que tous les dispositifs et équipements nécessaires au bon transfert, lors du déchargement des méthaniers et du chargement barges;
- Zone de stockage de GNL, qui comprend les réservoirs de stockage et tous les accessoires et dispositifs auxiliaires nécessaires à leur bonne gestion, ainsi que la salle de contrôle pour la supervision et la gestion de l'usine et du générateur diesel de secours;
- zone de regazéification, comprenant 12 vaporisateurs d'air;
- la zone de chargement des camions-citernes, qui comprend les baies de chargement / refroidissement des camions-citernes, les systèmes de mesure de la charge et tous les systèmes auxiliaires pour un fonctionnement et une gestion appropriés.

#### Plan d'usine IVI Petrolifera



#### 6.6.3. Aspects de projet, d'autorisation et de construction.

##### État du projet et de l'autorisation

<b>Valutazione di Impatto Ambientale</b>	
<b>Livello progettuale</b>	Progetto definitivo
<b>Stato Procedura</b>	Istruttoria Tecnica CTVIA
<b>Avvio Procedura</b>	09/08/2018
<b>Soggetto Autorizzante</b>	Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare



État de mise en œuvre

<b>Data prevista avvio cantieri</b>	2019.
<b>Data prevista chiusura cantieri</b>	2020.
<b>Tempi di costruzione:</b>	10 mesi
<b>Descrizione delle fasi di cantierizzazione</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• preparazione dell'area, che comprende la rimozione ed il trasporto fuori sito del materiale superficiale - l'asfalto attualmente presente - e l'approvvigionamento di materiale granulare per le successive attività di costruzione;</li> <li>• esecuzione delle fondazioni delle strutture del deposito costiero;</li> <li>• installazione, completamento e sistemazione superficiale dell'area di impianto</li> </ul>

**6.6.4. Emplacement.**

L'emplacement de l'usine est prévu dans la zone industrielle du port d'Oristano. Cette zone peut être identifiée à l'aide des coordonnées géographiques suivantes: latitude: 39 ° 86'76 "N longitude: 8 ° 54'78" E.

La zone prévue pour l'emplacement du dépôt est celle située sur le remblai existant, à proximité du quai et du remblai qui surplombent l'avant-port, et couvre une superficie au sol d'environ 16 000 m<sup>2</sup>, actuellement pavée. La zone de l'usine sera située à une distance d'environ 350 m du dépôt pétrolier existant de IVI Petrolifera.

Emplacement de l'usine IVI Petrolifera



**6.6.5. Procédures de fourniture pour le bunker.**

La fourniture de GNL aux navires est réalisée au large par des barges d'une capacité de 500 m<sup>3</sup> selon le mode opératoire dit «ship to ship». Le service est rendu possible par l'utilisation de pompes de transfert avec une ligne dédiée au conduit liquide commun dans la station de ravitaillement du navire. La tuyauterie entre le collecteur de liquide et la station de remplissage du navire est la même que celle utilisée pour le déchargement du navire. Le débit de remplissage pour le ravitaillement du navire est prévu pour 250 m<sup>3</sup> / h. Il y a un tuyau de ravitaillement du navire. La procédure de ravitaillement prévue est une opération menée par l'équipage dans laquelle les deux opérateurs du navire et du côté du terminal sont nécessaires.

Le ravitaillement à la barge se fait via un tuyau de ravitaillement du navire pour un temps de déchargement total d'environ 2 heures, sans compter les temps d'amarrage, d'ancrage et de désamarrage.

Le réservoir est rempli du collecteur de liquide au refoulement de la pompe. Le remplissage de GNL et la pression du réservoir du navire de transport sont régulés par des vannes appropriées. La pression est augmentée pour corriger le débit de charge lors du démarrage et est abaissée à zéro à la fin de la séquence de remplissage automatique. Les tuyaux sont flexibles et sont équipés de raccords rapides et de raccords de détachement manuel qui permettent un fonctionnement sûr et fiable entre le terminal et la barge. Les tuyaux et les raccords doivent être correctement stockés dans des armoires spéciales après le déchargement du GNL. Le terminal est également équipé d'une connexion ESD pneumatique. Le ravitaillement en GNL est réalisé en activant les 3 pompes de transfert dédiées qui pompent le GNL, à travers une ligne dédiée, vers la station de ravitaillement de la barge. La tuyauterie entre le collecteur de liquide et la station de ravitaillement est la même que celle utilisée pour le déchargement des méthaniers. La station de chargement des barges est équipée de:

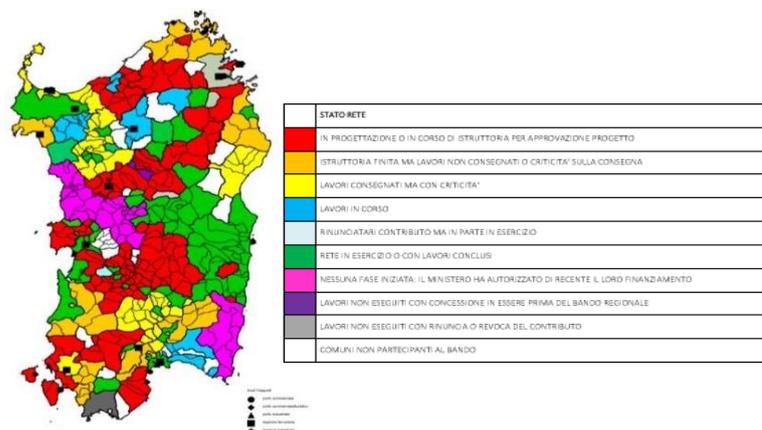
- Bras de chargement pour le transfert de GNL;
- Raccord de tuyau avec raccord rapide et raccords à détachement manuel;
- Vanne de blocage double et évent pour isolation manuelle;
- Vanne marche / arrêt automatique;
- Vanne de régulation pour augmenter le *throughput*;
- Capteur de mesure de température, correctement installé sur le quai pour détecter les grandes fuites de GNL;
- Débitmètre et totalisateur pour la mesure fiscale;
- Transmetteurs de température et de pression;
- Vanne de purge d'azote;
- Détecteurs d'incendie et de gaz;
- Bouton d'arrêt et d'urgence;
- Feux de signalisation.

En cas d'urgence et si la barge doit retirer sa charge, cette opération sera réalisée grâce à l'utilisation d'azote. La barge peut alors connecter la canalisation d'azote disponible sur le quai pour forcer le GNL vers les réservoirs au sol.

#### 6.6.6. Utilitaires et distribution.

Le Terminal GNL vise principalement à alimenter les réseaux internes existants présents sur le territoire régional de la Sardaigne. En fait, le plan de réseau régional est divisé en 38 bassins qui concernent au total 330 communes.

#### Situation de construction des bassins de distribution de gaz en Sardaigne (2015)



TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

Le throughput annuel maximal de l'usine de GNL regazéifié à pleine capacité sera de 876 000 m<sup>3</sup> vers le réseau interne de distribution de méthane de Sardaigne; il est également prévu que 4 000 m<sup>3</sup> de GNL seront distribués pendant l'exploitation par camion ou barge. L'usine permettra également de réaliser un service de soutage en mode Ship to Ship.

#### **6.6.7. Dimensionnement et indicateurs de performance clés (KPI).**

Le terminal sera approvisionné par l'arrivée d'un maximum de 220 méthaniers par an d'une capacité comprise entre 4000 et 5000 m<sup>3</sup>. Les volumes annuels maximum stockés seront de 880 000 m<sup>3</sup> de GNL. Le projet prévoit la préparation des zones et des points de raccordement aux systèmes nécessaires au transfert du GNL respectivement aux pétroliers pour la distribution du produit sur le territoire intérieur et aux barges pour le ravitaillement des navires au GNL. Pour le chargement des barges, la possibilité de reflux de la ligne de déchargement de GNL sera prévue. Le projet prévoit la distribution par voie maritime d'environ 20% du GNL fourni au dépôt tandis que les 80% restants seront distribués par route sur le territoire régional vers les centres de consommation. Les délais suivants sont estimés pour la réalisation des activités par voie maritime:

- Manœuvre d'entrée au port et amarrage: 3 heures;
- Temps de chargement / déchargement: 12 heures;
- Manœuvre de débarquement et de sortie: 3 heures.

En ce qui concerne la distribution par voie terrestre par camions-citernes, l'utilisation d'un maximum de 100 unités par an est prévue. Les activités de chargement des pétroliers dureront environ 1,5 heure. L'usine sera opérationnelle pendant environ 310 jours par an et pourra fonctionner en continu pendant au moins 25 ans.

- Le projet est basé sur un débit continu de GNL capable de permettre un débit de regazéification de 60 000m<sup>3</sup> / h (équivalent à 100 m<sup>3</sup> / h de GNL);
- Le pétrolier peut être chargé pour deux pétroliers en même temps;
- Le retour de la vapeur du pétrolier vers le réservoir de GNL est prévu;
- Il n'y a pas de retour de vapeur des réservoirs de stockage de GNL vers le navire transportant du GNL;
- Le ravitaillement des barges peut être effectué simultanément avec le chargement du pétrolier
- La regazéification peut être effectuée simultanément avec les opérations de manutention de GNL ci-dessus.

Le tableau suivant donne quelques valeurs relatives aux caractéristiques du système de chargement de GNL aux navires et aux pétroliers.

<b>Carico Nave</b>	
<b>Capacità LNGC, min/max</b>	4000-5000 m <sup>3</sup>
<b>Tonnellaggio massimo pontile</b>	50,000 DWT
<b>Dimensioni massime del pontile, lunghezza</b>	170-190 m
<b>Limitazione di pescaggio del pontile</b>	11.5 m
<b>Tempo di scarico</b>	12 ore
<b>Carico Autocarro</b>	
<b>Numero stazioni di carico autocarro</b>	1
<b>Numero banchine di carico autocarro per stazione</b>	2



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Frequenza di esportazione LNG mensile	4000 m <sup>3</sup>
Frequenza di carico autocarro per giorno lavorativo	3-4

#### 6.6.8. Layout et processus.

Les principales unités du système sont illustrées ci-dessous:

- **Déchargement et transfert GNL:** le GNL sera acheminé vers le dépôt côtier par des pétroliers ou des pétroliers ayant des caractéristiques similaires à celles existantes avec une capacité de transport typiquement comprise entre 4 000 et 5 000 m<sup>3</sup>. Les navires seront amarrés et déchargés dans une zone d'accostage située sur un quai existant. Une fois l'amarrage du navire assuré et les communications avec le dépôt établies, les procédures de déchargement du GNL peuvent commencer par la connexion du bras de chargement situé au poste d'amarrage et les tests d'étanchéité correspondants effectués. Le bras de chargement permettra le raccordement de la ligne de GNL. Le produit sera déchargé et envoyé dans les neuf réservoirs de stockage du dépôt.
- **Réservoirs de stockage GNL:** Le GNL est stocké dans 9 réservoirs à pression cylindriques horizontaux d'une capacité utile d'environ 1000 m<sup>3</sup> chacun. Les réservoirs de type cylindrique horizontal seront installés au-dessus du sol et seront du type à double confinement total, chacun étant constitué d'un réservoir externe et d'un réservoir interne tous deux en acier inoxydable cryogénique. Les réservoirs ont une pression de conception de 8 barg + Full Vacuum et une pression de service variable entre 1 et 7 barg.
- **Système de distribution GNL:** a) Chargement de GNL sur les barges: cette opération se fera par le fonctionnement de 3 pompes de surpression. Les pompes de surpression aspireront des réservoirs et, pendant le fonctionnement normal, enverront le GNL à la barge en utilisant la même ligne de déchargement que le méthanier à contre-courant. Les barges seront alimentées par un tuyau qui permettra une grande flexibilité de chargement, permettant d'alimenter différents types de barges. Les pompes de chargement de GNL seront de type submersible multicellulaire centrifuge. En conditions normales de fonctionnement, les 3 pompes seront toutes opérationnelles, dimensionnées en configuration 3 à 33% de la capacité de charge maximale de la barge, soit 255 m<sup>3</sup> / heure. b) Chargement de GNL sur des pétroliers: 2 quais de chargement de GNL sur des pétroliers seront fournis. Les baies seront alimentées par l'une des trois pompes de transfert de GNL. La pompe utilisée a un débit nominal de 85 m<sup>3</sup> / heure et une hauteur de 200 m, garantissant ainsi d'alimenter les deux baies avec 42,5 m<sup>3</sup> / heure de GNL chacune.
- **Système de gestion du BOG:** les caractéristiques des réservoirs, capables de fonctionner à haute pression, permettent le confinement du BOG permettant à la pression de saturation interne et aux températures associées d'augmenter jusqu'à la prochaine fourniture de GNL et en tout cas jusqu'à la valeur de consigne prévue pour la gestion du BOG. La pression et la température à l'intérieur du réservoir sont relativement élevées par rapport au GNL qui est fourni au dépôt au moyen d'un camion-citerne. Le GNL déchargé d'un camion-citerne se mélange à celui du réservoir, condensant le BOG et amenant le GNL à une température et une pression plus basse. Ce processus de gestion repose sur l'approvisionnement périodique en GNL qui



Interreg



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



rééquilibre le GNL dans les réservoirs afin de réduire ou non la production de BOG. Si l'alimentation en GNL neuf n'a pas lieu à temps pour amener la pression à une valeur de consigne, le système de reliquéfaction sera activé. Lorsque la pression des réservoirs s'approche de la pression de consigne, l'installation de re-liquéfaction se met en marche et prend le BOG du haut des réservoirs et l'envoie à un échangeur de chaleur cryogénique à plaques à ailettes qui condensera la vapeur en liquide et retournera sous forme liquide dans les réservoirs de stockage de GNL. Ce processus vous permet de contrôler indéfiniment la pression des réservoirs.

- **Système de lampe de poche d'urgence:** le dépôt sera équipé d'un système de collecte des rejets connecté à une torche chaude, le système est conçu pour collecter et éliminer en toute sécurité les rejets des conduites de purge, des soupapes de surpression et des soupapes de protection thermique. Le dégagement de gaz à travers la torche n'est prévu que dans des conditions de fonctionnement anormales et d'urgence, ou pour se préparer à la maintenance.

#### **6.6.9. Procédures de sûreté et de sécurité.**

L'usine a été conçue pour minimiser la possibilité de fuite accidentelle ou de fuite de GNL. La philosophie adoptée vise à minimiser les accouplements à brides en faveur des raccords soudés. L'utilisation de brides est envisagée là où les normes réglementaires de référence l'exigent explicitement, par exemple pour l'isolation positive des réservoirs. De plus, l'usine est équipée de vannes d'arrêt à l'entrée et à la sortie des principaux équipements (réservoirs, pompes, etc.) et sur les principales lignes de GNL. De cette manière, il est possible d'isoler les équipements et les sections de la ligne et donc de limiter au minimum les rejets accidentels de GNL et de vapeurs. Le manuel d'exploitation fourni comprendra toutes les procédures d'exploitation nécessaires au bon fonctionnement de l'usine et des systèmes de l'entrepôt.

Les procédures d'exploitation prévoient que le volume total stocké dans les réservoirs est tel qu'il permette le transfert d'un réservoir dans les autres, afin de pouvoir gérer d'éventuelles situations d'urgence sur un réservoir. Le volume maximum de GNL pouvant être stocké à l'intérieur des 9 réservoirs sera de 8 000 m<sup>3</sup>. La procédure de déchargement est une opération dirigée par le personnel qui nécessite des opérateurs sur le navire et du côté du dépôt de GNL. Une personne est attendue sur le quai lors du déchargement et une dans la salle de contrôle de l'usine. L'interaction entre ces deux opérateurs et l'équipage du navire est essentielle lors de la procédure de déchargement. La station de chargement de la citerne a été conçue pour permettre au conducteur de la citerne de contrôler l'ensemble de l'opération de chargement, y compris les points de consigne de démarrage, d'arrêt et de remplissage, sans aucune assistance. Ceci est facilité par un panneau de commande positionné dans la zone de la station de chargement. Toutes les opérations sont effectuées automatiquement par le système de contrôle à l'exception de la connexion et de la déconnexion des bras de chargement et de la vérification de la connexion correcte. L'usine sera équipée des panneaux de sécurité nécessaires conformément aux exigences du décret législatif 81/2008 au titre V «Panneaux de sécurité et de santé au travail» et ses modifications ultérieures.

- sécurité et santé sur le lieu de travail;
- l'interdiction, telle que l'interdiction de fumer et l'utilisation de flammes nues et l'interdiction d'accès aux personnes non autorisées;
- avertissement, comme par exemple des panneaux informant de la présence de gaz inflammables, de liquides inflammables, de substances à basse température;
- prescription, tels que des pancartes invitant à porter l'équipement de protection individuelle

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



nécessaire;

- sauvetage et sauvetage (par exemple signalisation des voies d'évacuation et des issues de secours).
- Tous les équipements de lutte contre les incendies présents seront de couleur rouge, placés à des endroits visibles et correctement marqués par des panneaux appropriés. Pour éviter les dommages dus à des chutes d'objets ou à des collisions pouvant entraîner des fuites de GNL, des mesures appropriées seront prises pour l'entretien et l'installation de l'équipement. Les travaux autour de l'équipement feront l'objet d'une évaluation des risques, mais les opérations de levage avec des moyens mobiles à proximité de l'équipement ne seront généralement pas autorisées.
- Le dépôt sera équipé d'une clôture anti-intrusion et un concierge sera mis à disposition pour contrôler les accès habités 24h / 24. Le dépôt sera également équipé de caméras de vidéosurveillance pour vérifier toute anomalie. Les systèmes de protection, envisagés pour obtenir un haut degré de sécurité, ont été choisis sur la base de ce qui est exigé par les règles, codes, normes de référence et ce qui découle de bons critères d'ingénierie. Le système de protection incendie active se compose des équipements suivants:
  - 8 bornes d'incendie hors sol et boîtes relatives pour tuyaux;
  - 1 moniteur d'une capacité de 2000 l / m. Si nécessaire, les pompiers pourront se connecter au réseau incendie via le point de connexion dédié. Le système est dimensionné pour permettre un débit d'eau d'extinction de 1380 m / heure et une pression de 8 bar.

#### **6.6.10. Contraintes environnementales.**

En ce qui concerne les sujets et / ou outils de planification suivants, il n'y a pas de restrictions ou de sauvegardes en ce qui concerne les zones du projet:

- *Sites du réseau Natura 2000, IBA, Parcs, EUAP.* La zone d'implantation du projet n'affecte directement aucune de ces zones naturelles protégées ou protégées. Le site le plus proche de la zone du projet est SIC ITB032219 Sassu Cirras, à environ 1,3 km, dont la caractérisation est rapportée dans l'étude d'incidence pour l'évaluation de l'impact potentiel sur les sites Natura 2000 les plus proches de la zone du projet;
- *Contraintes nautiques.* Cartes marines n ° 293 "Golfe d'Oristano" (Institut hydrographique de la marine, mise à jour en 2013, échelle 1:40 000) et n ° 291 "Porto di Oristano" (Institut hydrographique de la marine, mise à jour en 2009, échelle 1: 10 000) ils ne signalent pas les restrictions nautiques pour la zone du projet. Il convient également de noter que pendant l'exercice du projet, les méthaniers suivront les règles de navigation prévues pour l'accès et les manœuvres dans le port d'Oristano;
- *Contraintes militaires.* Comme indiqué dans la carte marine n ° 1050 "Zones normalement utilisées pour les exercices navals et de tir et zones de l'espace aérien soumises à restrictions" (Institut hydrographique de la marine, mise à jour en 2014, échelle 1: 1 700 000), la zone du projet tombe dans une zone «d'espace aérien restreint» appelée R 54, pour laquelle l'espace aérien est réglementé et dans laquelle le trafic maritime est tenu de se conformer aux instructions de l'avis aux navigateurs en cas d'exercices en cours ou programmé. Par conséquent, aucune contrainte militaire n'est identifiée dans la zone du projet;
- *PAI.* L'analyse de la cartographie des zones à risques hydrauliques et de glissements de terrain liées au sous-bassin n ° 2 «Tirso» montre que la zone du projet n'affecte ni les zones à risque hydraulique (Hi) ni à danger géomorphologique (Hg). La zone à risque hydraulique la plus proche du site du projet est une zone hautement dangereuse (Hi4) à l'embouchure de la rivière



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Tirso, à environ 1,4 km au nord-ouest du projet;

- *Plan de gestion des risques d'inondation* (approuvé avec la résolution du comité institutionnel de l'Autorité régionale du bassin sarde n ° 2 du 15.03.2016). À partir de l'analyse des cartes du danger, des dommages potentiels et du risque d'inondation dans la zone d'intérêt pour le projet, on peut voir que:
  - a. la zone de l'usine appartient à la classe de dommages potentiels D1 - Dégâts potentiels modérés ou inexistant, qui comprend les zones exemptes d'établissements urbains ou productifs où la libre circulation des inondations est possible. En ce sens, il est à noter qu'une fois la centrale présente, la zone du projet sera vraisemblablement reclassée en classe D4 - Dégâts potentiels très élevés, similaires aux zones anthropisées adjacentes à la zone de regazéification,
  - b. la zone du projet n'entre dans aucune classe de danger,
  - c. la zone de l'usine de regazéification et des pipelines ne tombe dans aucune zone à risque d'inondation. Ces zones sont définies en tenant compte conjointement de la classification du danger et des dommages potentiels du territoire, c'est pourquoi la zone du projet n'est incluse dans aucun des quatre niveaux de risque (R4, R3, R2 et R1);
- *Plan de protection de l'eau*. La zone du projet n'est pas affectée par la présence de:
  - a. les zones sensibles (y compris les zones humides, les lacs naturels et les voies navigables afférentes, les autres eaux douces, etc.) régies par l'article 22 de la NTA du Plan,
  - b. zones vulnérables aux nitrates,
  - c. les zones sont sauvegardées pour leur intérêt environnemental et paysager significatif comme les parcs, les SIC, les ZPS, etc.

Par conséquent, les protections environnementales ne sont pas identifiées sur la zone du projet en ce qui concerne l'eau;

- *Plan régional de qualité de l'air*. La zone du projet fait partie de la zone rurale (IT2010), pour laquelle le Plan ne prévoit ni règles ni contraintes;
- *Plan d'urbanisme territorial du Consortium du Consortium Industriel Provincial d'Oristano*. La zone de l'usine est située dans une zone disponible pour les activités de production. À l'article 6 «Lots pour activités de production» du NTA du Plan, il est indiqué que dans ces zones «seuls les établissements [...] industriels, les entrepôts, l'artisanat, les structures de soutien pour l'exploitation des activités de production sont autorisés». Il est à noter également que la canalisation du projet sera installée dans une piste de canalisation existante, qui ne relève que partiellement de l'agglomération industrielle, en contournant la zone verte de respect du consortium, les zones de stockage de matières premières et de respect inédite. Par conséquent, le Plan n'impose pas de contraintes ou de garanties dans la zone de mise en œuvre du projet, ce qui est conforme aux dispositions du Plan lui-même.
- *PUC Santa Giusta*. Le projet s'inscrit dans la sous-zone D1 «Grandes zones industrielles». Selon les dispositions du NTA du PUC, les sous-zones D1 sont des «zones occupées par des installations destinées à des activités industrielles de type complexe, pour la transformation de matières premières, pouvant produire une pollution acoustique et atmosphérique importante, non compatible avec la résidence, caractérisée par une occupation étendue des terres ». Le PUC de Santa Giusta ne semble donc pas imposer de restrictions ou de garanties sur la zone de construction des ouvrages.



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Le projet, comme indiqué par le NTA du PUC, peut faire l'objet d'un PUA dédié;

- *Plan d'utilisation du littoral (PUL), municipalité de Santa Giusta.* La superficie de l'usine n'affecte aucune zone du PUL, cette zone n'est donc pas soumise aux dispositions du plan. Les gazoducs de GNL envisagés par le projet seront construits dans une piste de canalisation existante, située dans la zone 3 «Port industriel». Dans ces zones, selon le NTA du PUL, la zone côtière relative au Port Industriel est exclue du champ d'application du PUL lui-même, étant régie par le Plan de Régulation du Consortium Oristano discuté ci-dessus;
- *Plan de réglementation portuaire du port industriel et commercial d'Oristano.* La zone du projet fait partie des zones industrielles et commerciales des colonies existantes. A cet égard, il convient de noter que les zones industrielles et commerciales, identifiées dans le zonage de 1964 comme des établissements existants, ont entre-temps été construites, contribuant à souligner la vocation portuaire et industrielle actuelle de la zone. Par conséquent, le plan ne semble pas imposer de restrictions ou de garanties sur la zone de construction des ouvrages.

## **6.7. BUSINESS CASES - PORT DE TOULON.**

Zone d'intérêt: Provence-Alpes-Côte d'Azur

Auteur: CCI du VAR avec la collaboration de See Up

Port/Business case: Port de Tolone, terminal GNL de Fos Tonkin (sous gestion à Elengy).

### **6.7.1. Introduction.**

Ci-dessous un résumé des business cases du port de Toulon, réalisé par le consultant scientifique See Up du Partenaire P5 (CCI du VAR), afin de cadrer et identifier la contribution de chaque Partenaire. Pour une plus grande cohérence au sein du produit T.2.2.2 «Fiche récapitulative», l'intervention sera divisée dans les mêmes sections des analyses de rentabilisation précédentes.

Les méthaniers du port de Toulon proviennent majoritairement d'Afrique du Nord Une fois sur place au terminal méthanier de Fos Tonkin, le GNL peut faire l'objet de trois types d'interventions:

- regazéification et injection ultérieure dans le réseau de distribution national;
- chargement à l'état liquide dans des camions-citernes et acheminement ultérieur vers le secteur industriel;
- chargement dans des méthaniers à tonnage réduit.

### **6.7.2. Description du système.**

La figure ci-dessous montre la représentation du site GNL de Fos Tonkin d'où il émerge comment le site, d'une superficie d'environ 17 hectares, peut être divisé en 4 zones, identifiées sur la figure par les lettres A, B, C, D<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> A indique le point d'entrée / sortie des méthaniers; B la zone destinée aux bureaux et à l'atelier; C le quai d'amarrage; D la zone industrielle.



Schéma du site GNL de Fos Tonkin et ses principales zones



Le processus industriel et le cycle de vie du GNL à l'intérieur du port sous examen sont résumés dans un système en 12 phases, résumé dans la figure ci-dessous, qui va du déchargement du GNL à l'aide de bras de déchargement (phase 1), jusqu'à son acheminement vers le réseau, suite à sa regazéification et à l'octroi d'une odeur (phase 7) Le processus d'égalisation réalisé lors du déchargement du pétrolier (phase 9) est également signalé, ainsi que la présence de deux systèmes de chargement de GNL pour les pétroliers (phase 12).

6.7.3. Aspects de projet, d'autorisation et de construction.

État du projet et de l'autorisation

L'évaluation de l'impact environnemental	
Niveau de projet	Avant-projet
Procédure de statut	Cf. apport de consultant
Procédure de démarrage	Cf. apport de consultant
Objet de l'autorisation	Cf. apport de consultant

État de mise en œuvre

Date de début prévue des chantiers	Cf. apport de consultant
Date prévue de fermeture des chantiers	Cf. apport de consultant
Temps de construction:	5 années
Description des phases de conception	<ul style="list-style-type: none"> <li>• préparation du projet initial et identification du lieu;</li> <li>• étude d'impact (ICPE: usine classée pour la protection de l'environnement) et évaluation des risques;</li> <li>• demande d'autorisation de la préfecture;</li> <li>• conception détaillée du projet;</li> <li>• demande et obtention du permis de construire;</li> <li>• mettre en action.</li> </ul>

6.7.4. Emplacement.

Le choix de l'emplacement du site de Fos Tonkin, qui semble être avant tout un terminal de regazéification, a été fait alors que ce site répondait à des objectifs différents de ceux donnés par un site de stockage pur.

#### 6.7.5. Procédures de fourniture pour le bunker.

L'approvisionnement du site se fait exclusivement par voie maritime. Il est souligné que le site n'est pas adapté à l'accueil de navires d'une capacité supérieure à 74 000 m<sup>3</sup> en raison de la limite technique donnée par la capacité du réservoir sur place, égale à 80 000 m<sup>3</sup>. Le débit de refoulement est égal à 4500 m<sup>3</sup> / h à vitesse de croisière, donc le temps de séjour ne dépasse pas 30 heures.

#### 6.7.6. Utilitaires et distribution.

En 2019, sur les 4 millions de m<sup>3</sup> de GNL livrés depuis le site de Fos Tonkin, 90% ont été injectés dans le réseau de distribution, tandis que le reste a été chargé sur des pétroliers. De plus, comme le site dispose de deux systèmes de chargement / déchargement de camions-citernes et que la période de transit de ces derniers, au sein de Fos Tonkin, est d'environ 1 heure, le site peut accueillir jusqu'à 34 camions par jour. Le transit et l'entrée des véhicules ont également été optimisés grâce à un système de réservation.

#### 6.7.7. Dimensionnement et indicateurs de performance clés (KPI).

Le site de Fos Tonkin dispose d'un réservoir d'une capacité de 80 000 m<sup>3</sup>, permettant, grâce à la vitesse de déchargement / chargement de ses pompes, le transit d'environ 10 millions de GNL par an. Au sein de l'étude, 3 KPI sont identifiés:

- indice de rotation du GNL dans le réservoir;
- nombre de pétroliers chargés chaque jour, avec temps de transit moyen relatif;
- nombre de bateaux chargés / déchargés et durée de l'escale.

#### 6.7.8. Layout et processus.

En ce qui concerne la mise en page et les processus, le rapport préparé par le partenaire P5 détaille en détail les profils les plus pertinents. Ci-dessous la vue détaillée de la mise en page prévue

Schéma du processus GNL dans le terminal de Fos Tonkin



#### 6.7.9. Procédures de sûreté et de sécurité.

Avec la mention spécifique relative à la discipline réglementaire à laquelle le site de Fos Tonkin peut être / est soumis (ICPE Seveso Seuil élevé; ISPS; ZAR), il est nécessaire de mentionner certaines des procédures et systèmes de sécurité mis en œuvre par Elengy à l'intérieur du terminal, ils sont donc résumés dans le tableau ci-dessous.



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



### Procédures de sécurité adoptées par le site Fos Tonkin

---

Chargement / déchargement en mer	<i>Surveillance d'un opérateur; Dispositif de déconnexion d'urgence sur les bras.</i>
Station de chargement de GNL des camions-citernes sur site	<i>Surveillance d'un opérateur; Attendre le conducteur dans un endroit sûr; Entrée sur le site uniquement sur autorisation; tuyaux de raccordement flexibles.</i>
Réservoir de stockage	<i>Chargement de GNL effectué par le haut.</i>
Site industriel	<i>Surveillance météorologique; Systèmes MMR pour la détection de GNL; Systèmes de prévention des incendies.</i>
Normes et standards appliqués	<i>ISO 9001; ISO 14 001; ISO 45 001; Système de gestion de la sécurité (ISR8)</i>

---

#### **6.7.10. Contraintes environnementales.**

Veillez vous référer au produit T2.2.2 dans sa version complète pour une analyse détaillée.



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## **7. FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.3.1 "OUTILS DE GESTION POUR L'ÉVALUATION DES INVESTISSEMENTS DANS LES INSTALLATIONS D'APPROVISIONNEMENT ET DE STOCKAGE DE GNL DANS LES PORTS"**

### **7.1. Objectif du produit T2.3.1**

L'objectif du produit T2.3.1 "Outils de gestion pour l'évaluation des investissements dans les installations d'approvisionnement et de stockage de GNL dans les ports" situé dans la composante T2 "Préparation du plan d'action intégré commun pour la planification et le développement des installations de soutage de GNL dans les ports de la zone de programme" est de définir certains outils de gestion pour l'évaluation des investissements dans les installations d'approvisionnement et de stockage de GNL dans les ports. Plus précisément, le produit susmentionné fournit un ensemble d'informations détaillées sur les investissements (CAPEX) et les coûts d'exploitation (OPEX) liés à la mise en œuvre et à la gestion de différentes solutions de soutage et de stockage de GNL dans l'environnement maritime portuaire, en considérant différentes options technologiques et un dimensionnement des installations conforme aux caractéristiques spécifiques des ports fournis dans le formulaire. En outre, les activités de recherche menées ont permis de fournir des informations détaillées sur les indicateurs et les paramètres à utiliser afin de procéder à une première évaluation de la viabilité économique et financière de diverses solutions technologiques pour le soutage et le stockage du GNL, et de disposer de quelques outils de gestion initiaux visant à une évaluation plus éclairée par les décideurs publics et autres parties compétentes en ce qui concerne les propositions de projets émanant d'opérateurs privés désireux d'investir dans la mise en œuvre de ce type d'installations et de solutions d'approvisionnement dans l'environnement portuaire. Toutefois, le cadre conceptuel élaboré pour l'analyse des investissements et des coûts d'exploitation tient également compte des principaux profils économique-financiers liés à la logistique d'approvisionnement des installations examinées. Afin de mener à bien les activités qui y sont mentionnées, une feuille de calcul "Excel" articulée a également été préparée, contenant les outils qui facilitent l'évaluation des profils économique-financiers résultant des choix d'investissement effectués dans les structures décrites. Ce dossier pourrait utilement faire l'objet d'activités de capitalisation pour fournir aux décideurs publics impliqués dans ce type de processus de conception d'infrastructures et le processus d'autorisation y afférent des outils analytiques d'aide à la décision stratégique de nature simple et semi-automatique.

Le produit bénéficie donc à plusieurs catégories de groupes cibles envisagées pour le projet, dont principalement les autorités portuaires, les autorités publiques locales, les opérateurs privés du secteur (armateurs, sociétés de soutage, sociétés de terminaux), les capitaines de port et les pompiers.

### **7.2. Profils méthodologiques**

Afin de définir un cadre conceptuel solide et partagé, fonctionnel à l'examen des différents investissements et coûts d'exploitation liés à chaque solution de soutage et de stockage de GNL dans l'environnement portuaire maritime, en tenant compte des différentes spécifications dimensionnelles et des mécanismes de logistique d'approvisionnement, le partenariat a défini les profils méthodologiques communs à appliquer dans les activités de recherche en question. Cette phase a notamment vu une forte coordination entre les partenaires P1, P2 et P3, ainsi que leurs consultants externes respectifs (Assocostieri Servizi Srl pour P1 et Enterprise Shipping Agency Srl pour P3). La définition des profils méthodologiques a permis non seulement d'identifier la classification et la taxonomie des différents coûts (CAPEX et OPEX) et les profils liés aux coûts de la logistique d'approvisionnement en GNL aux nœuds de soutage et de stockage, mais, malgré le manque actuel de données et d'informations sur la tarification qui pourrait caractériser les services de soutage de GNL dans les ports dans les années à

venir, on a tenté de définir des approches pour l'évaluation préliminaire des investissements dans des installations de ce type d'un point de vue économique et financier.

En particulier, pour chaque option technologique de soutage et de stockage du GNL, une taxonomie précise des catégories de coûts macro et micro attribuables aux CAPEX, OPEX et à la logistique d'approvisionnement a été définie. Pour un examen détaillé des profils méthodologiques en question, voir la version complète du produit T2.3.1.

Le modèle conceptuel adopté bénéficie des activités de recherche menées par les différents partenaires et leurs consultants et est donc basé sur les documents mentionnés ci-dessous :

1. "Examen des profils économique-financiers liés à la préparation des solutions technologico-productives les plus appropriées pour le soutage et le stockage du GNL dans l'environnement portuaire" développé par Assocostieri srl en relation avec la contribution au projet Interreg Marittimo TDI RETE-GNL ;
2. "Produit T2.3.1 "Valutazione economico-finanziaria preliminare di impianti di bunkering e stoccaggio GNL nei porti dell'area ", préparé par le groupe de l'ESA à titre de contribution au projet susmentionné ;
3. T2.3.1 "Outil de gestion pour l'évaluation des investissements dans les installations de soutirage / stockage de GNL" fourni par le partenaire du projet, l'Office des Transports de Corse (OTC) ;
4. "Analyse des coûts de l'infrastructure logistique du GNL dans les ports et des externalités connexes" fournie par le partenaire UNIPI en collaboration avec la société de conseil STF - Studio Tommaso Franci.

En outre, afin d'arriver à une première évaluation sommaire des investissements d'infrastructure de ce type, l'UNICA-CIREM, en collaboration avec le consultant ESA, a préparé une analyse de balisage et de scénarios multiples avec laquelle on a tenté d'identifier certains indicateurs économique-financiers pour évaluer la viabilité économique-financière de différents types d'investissements en GNL dans le secteur maritime-portuaire. La définition du cadre conceptuel et de la méthodologie d'analyse ainsi adoptée a été partagée lors d'une réunion télématique spéciale en juillet 2020 avec le client et au CF du projet.

Enfin, le produit T2.3.1 envisage également des solutions possibles pour accroître l'attractivité de l'entreprise en question du point de vue du secteur privé par le biais de formes de soutien public ou d'interventions de divers types, comme :

- ✓ Mise en œuvre de PPP (partenariats public-privé), de subventions non remboursables et de prêts à faible taux d'intérêt.
- ✓ Certificats " green " et incitations fiscales (taxes portuaires différenciées).
- ✓ Subventions de fonctionnement pour les investissements dans les technologies "green".

### **7.3. Description des postes de coût**

Afin de définir une classification adéquate des investissements et des coûts d'exploitation liés à la construction et à la gestion des infrastructures de soutage de GNL dans la zone maritime-portuaire, le partenariat a défini des macro-catégories de coûts qui ont ensuite été décomposées en postes de dépenses homogènes , compte tenu des coûts d'investissement (CAPEX) et des coûts d'exploitation et de gestion (OPEX) qui distinguent les différents types d'installations (il est à nouveau précisé que les coûts liés à la logistique d'approvisionnement ont également été inclus).



En particulier, les coûts d'investissement à engager dans la construction d'infrastructures de stockage et de soutage de transfert pour les différentes technologies analysées sont divisés en trois macro-catégories de coûts, elles-mêmes divisées en micro-catégories de coûts (Figure 35).

Figure 35. Classification des coûts CAPEX pour diverses solutions de soutage du GNL

LNG - BUNKERING MODE		T-t-S					P-t-S				S-t-S					
LNG - BUNKERING TYPE		ISO-cont on wheel	semi-trailer on wheel	ISO-cont on skid	Tank on skid	Tank/ISO multi-rads	S-bullet cylinders	M-bullet cylinders	L-bullet cylinders	secondary atm. tank	primary atm. tank	MV. (Seagas)	barge (Flotaster)	MV (Coralfac)	MV (Coralfac) (Northsea)	MV (Coralfac) (Emcartol)
<b>CAPEX INVESTMENT COSTS</b>																
<b>A) LNG storage IN/OUT</b>																
tank surface factor			f.													
tank pressure factor			f.													
LME Nil 5%			56.000	€												
tank/hull structure factor			2.000	€												
B.O.P. (pumps, pipes, meters, ...)				€												
<b>A) LNG Storage IN/OUT construct.cost</b>				€												
<b>B) LNG send out to bunkering</b>																
distance LNG storage to ship				m												
pipes & bunkering equipment			540.000	€												
B.O.P.				€												
<b>B) LNG send out to bunker.costs</b>				€												
<b>C) LNG infrastructure general items</b>																
Land	150	€														
Project Managem. & Engineer.	8%	€														
site set up & start up costs	3%	€														
insurances	1%	€														
various & contingencie s	3%	€														
<b>C) LNG infrastructure general costs</b>		€														
<b>LNG BUNKERING TOTAL CAPEX</b>		€														
<b>Specific CAPEX/Storage INDEX:</b>		€/m <sup>3</sup>														
Tractors & semitrailers	135	€														
<b>D) LNG SUPPLY CHAIN</b>		€														
<b>CAPEX Entire Bunker Supply Chain</b>		€														
<b>Spe cific CAPEX Entire Supply INDEX:</b>		€/m <sup>3</sup>														
		€/m <sup>3</sup>														

Source: Assocostieri Servizi Srl/UNIGE-CIELI

Les macro-catégories sont :

- A. Coûts de construction du Storage IN/OUT du GNL ;
- B. Les coûts de construction de l'installation de transfert (sortie) du GNL (coûts d'envoi du GNL vers le bunker) ;
- C. Coûts généraux de l'infrastructure GNL (LNG infrastructure general costs).

Les postes de coûts examinés jusqu'à présent dépendent de la distance entre le stockage de GNL de l'installation et le navire à ravitailler. En plus des trois macro- catégories ci-dessus, un quatrième élément de coût de la chaîne d'approvisionnement (D.) appelé "Coûts de la chaîne d'approvisionnement du GNL (LNG supply chain costs)" doit également être examiné, qui prend en compte les coûts logistiques du GNL de l'installation pour la fourniture de services de soutage.

Poursuivant l'examen des principaux coûts des activités de stockage et de soutage du GNL, les coûts d'exploitation et de gestion des installations de soutage du GNL ont été examinés dans deux macro-catégories de coûts :

- E. Coûts d'exploitation du stockage et de l'émission de GNL (LNG Storage & Send-Out Total Opex).
- F. Coûts d'exploitation de la chaîne d'approvisionnement en GNL (LNG Supply Chain Cost).

Dans ce cas également, une subdivision supplémentaire en postes de microcoûts a été élaborée, comme le montre la

Figure 36.



Figure 36. Classification des coûts OPEX pour diverses solutions de soutage du GNL

LNG - BUNKERING MODE	T-t-S					P-t-S					S-t-S				
LNG - BUNKERING TYPE	ISO-cont on wheel	semi-trailer on wheel	ISO-cont on skid	Tank on skid	Tank/Skic multi-rack	S-bullet cylinders	M-bullet cylinders	L-bullet cylinders	secondary atm. tank	primary atm. tank	M.V. (Seago)	barge (Flexibar)	MV (Coralus)	MV (Coral Encanto)	
<b>OPEX - OPERATION COSTS</b>															
<b>E) LNG STORAGE &amp; SEND OUT</b>															
Manager/Captain	110														
Assist. Manager/Officer	90														
shift work/crew	60														
day work	45														
Labor total															
Maintenance & Tech. Services	2%														
Energy & other utilities	200	50													
GSA&Insurances	50%	1%													
<b>LNG Storage &amp; Send-Out TOTAL OPEX</b>	<b>k€/y</b>														
<b>F) LNG SUPPLY CHAIN</b>															
Manager/Captain	110														
Assist. Manager/Officer	90														
drivers/crew	45														
Labor total															
Maintenance & Tech. Services	2%														
Energy & other utilities	200	50													
GSA&Insurances	50%	1%													
<b>LNG Supply Chain TOTAL OPEX</b>	<b>k€/y</b>														
<b>OPEX Entire Bunker Supply Chain</b>	<b>k€/y</b>														
<b>Specific OPEX Entire Supply INDEX</b>	<b>C/m<sup>3</sup></b>														
<b>Operation range of bunkering mode/type</b>	best for bunkering flexibility to small boats & ferries					best for ships bunkering @ the docks of the Terminal					best for bunkering large ships @ their mooring docks (or at sea)				

Source: Assocostieri Servizi Srl/UNIGE-CIELI

#### 7.4. Évaluation économique-financière des différentes solutions de soutage GNL

Dans le cadre du produit T2.3.1, une analyse des profils économique-financiers relatifs aux différentes options technologiques liées aux solutions de soutage du GNL, c'est-à-dire Ship to Ship (STS), Truck to Ship (TTS) et Pipe to Ship (PTS), a été réalisée. Les sous-sections suivantes analysent et comparent les profils technico-opérationnels qui ont la plus grande influence sur les valeurs économiques de chacune de ces options technologiques. Enfin, une analyse comparative est proposée entre les coûts de CAPEX et d'OPEX liés aux trois solutions de soutage, en considérant différentes options d'investissement pour chaque solution technologique.

##### 7.4.1. Ship to Ship (STS)

Dans le cadre de la solution STS, les cinq options suivantes pour le soutage du GNL ont été identifiées par rapport à la capacité de stockage (exprimée en m<sup>3</sup>) des réservoirs des navires utilisés pour les opérations de ravitaillement :

1. Très petits navires de soutage du GNL (150-300m<sup>3</sup>) ;
2. Petites barges de soutage (1.000-3000 m<sup>3</sup>) ;
3. MV bunker Small size (1.000-5.000 m<sup>3</sup>) ;
4. MV bunker Mid-size (6.000-10.000 m<sup>3</sup>) ;
5. MV bunker Large size (15.000-30.000 m<sup>3</sup>).

Afin de réaliser une analyse comparative et de fournir des informations synthétiques sur les profils économiques et financiers caractérisant les différentes options de soutage de GNL, les variables techniques / opérationnelles suivantes ont été sélectionnées (Tableau 33).

Tableau 33. Profils technico-opérationnels pertinents pour l'analyse économique et financière des différentes options d'investissement liées à la solution technologique de soutage de type STS

<b>LNG - BUNKERING MODE</b>	<b>S-t-S</b>				
<b>LNG - BUNKERING TYPE</b>	<b>Très petits navires de soutage du GNL</b>	<b>Petites barges de soutage</b>	<b>MV bunker small size</b>	<b>MV bunker mid size</b>	<b>MV bunker large size</b>
Capacité moyenne du réservoir (m <sup>3</sup> )	<b>200</b>	<b>1.500</b>	<b>5.000</b>	<b>7.500</b>	<b>30.000</b>
Capacité d'envoi (m/h <sup>3</sup> )	<b>150</b>	<b>600</b>	<b>600</b>	<b>900</b>	<b>1.800</b>
vitesse (knts)	12,5	7	13	13	16
Distance Hub Approvisionnement et à ravitailler. (km)	50	250	500	500	500
Heures Navigation et dans port (chargement / déchargement / inactivité / opérations portuaires)	13	56	84	84	96
Opérations de soutage par semaine	<b>14</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
Capacité MAX annuelle (m <sup>3</sup> )	<b>146.000</b>	<b>234.000</b>	<b>520.000</b>	<b>780.000</b>	<b>3.120.000</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/UNIGE-CIELI e Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Sur la base des données du Tableau 33, l'origine référence non est stata trovata., les coûts CAPEX pour chaque option d'investissement (Tableau 34) ont été analysés à la fois en termes absolus et par m<sup>3</sup> de capacité de production annuelle des installations (avec une durée de vie utile du navire estimée à 25 ans

Tableau 35).

Tableau 34: Coût total CAPEX des solutions de soutage STS

<b>LNG - BUNKERING MODE</b>	<b>S-t-S</b>				
<b>LNG - BUNKERING TYPE</b>	<b>Très petits navires de soutage du GNL</b>	<b>Petites barges de soutage</b>	<b>MV bunker small size</b>	<b>MV bunker mid size</b>	<b>MV bunker large size</b>
Coûts de construction du stockage du GNL IN/OUT	<b>1.228.000</b>	<b>8.775.000</b>	<b>14.591.000</b>	<b>25.456.000</b>	<b>73.646.000</b>
Coûts de construction de l'installation de transfert (out) de GNL	<b>155.000</b>	<b>436.000</b>	<b>436.000</b>	<b>623.000</b>	<b>1.186.000</b>
Frais généraux de l'infrastructure GNL	<b>719.000</b>	<b>3.039.000</b>	<b>6.161.000</b>	<b>9.258.000</b>	<b>11.224.000</b>
Coûts de la chaîne d'approvisionnement en GNL	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>
<b>Coût CAPEX total</b>	<b>2.102.000</b>	<b>12.250.000</b>	<b>21.188.000</b>	<b>35.337.000</b>	<b>86.056.000</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.



Tableau 35: Coût CAPEX annuel par m<sup>3</sup> de capacité de production des options de soutage de type STS (25 ans de vie utile).

LNG - BUNKERING MODE	S-t-S				
LNG - BUNKERING TYPE	Très petits navires de soutage du GNL	Petites barges de soutage	MV bunker small size	MV bunker mid size	MV bunker large size
Coûts de construction du stockage du GNL IN/OUT	0,34	1,50	1,12	1,31	0,94
Coûts de construction de l'installation de transfert (out) de GNL	0,04	0,07	0,03	0,03	0,02
Frais généraux de l'infrastructure GNL	0,20	0,52	0,47	0,47	0,14
Coûts de la chaîne d'approvisionnement en GNL	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<b>Coût CAPEX unitaire total annuel</b>	<b>0,58</b>	<b>2,09</b>	<b>1,63</b>	<b>1,81</b>	<b>1,10</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM

L'analyse comparative des données des tableaux ci-dessus montre que les CAPEX augmentent moins que proportionnellement à l'augmentation de la taille de l'actif de la construction navale, ce qui produit un effet plus visible des économies d'échelle en tenant compte du rapport entre l'investissement annuel total requis et la capacité annuelle de l'installation de construction navale. La même formulation a été utilisée pour les coûts opérationnels de chaque option d'investissement liée à la solution STS (Tableau 36 e Tableau 37).

Tableau 36: Coût OPEX annuel pour les solutions de soutage de type STS

LNG - BUNKERING MODE	S-t-S				
LNG - BUNKERING TYPE	Très petits navires de soutage du GNL	Petites barges de soutage	MV bunker small size	MV bunker mid size	MV bunker large size
coûts du travail	530.000	950.000	1.790.000	1.790.000	1.790.000
Coûts de maintenance et de service technique	42.000	246.000	424.000	706.000	1.722.000
Coûts de l'énergie et des autres services publics	465.750	746.500	1.659.000	2.488.750	9.954.750
Frais généraux d'administration, de sécurité et d'assurance	307.000	721.000	1.319.000	1.601.000	2.617.000
<b>Coût opérationnel de l'infrastructure de soutage du GNL</b>	<b>1.344.750</b>	<b>2.663.500</b>	<b>5.192.000</b>	<b>6.585.750</b>	<b>16.083.750</b>
coûts du travail	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Coûts de maintenance et de service technique	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Coûts de l'énergie et des autres services publics	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Frais généraux d'administration, de sécurité et d'assurance	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

<b>Coûts de la supply chain du GNL</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>
<b>Coût total de fonctionnement</b>	<b>1.344.750</b>	<b>2.663.500</b>	<b>5.192.000</b>	<b>6.585.750</b>	<b>16.083.750</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Tableau 37: Coût OPEX annuel par m<sup>3</sup> de capacité annuelle de l'installation d'options de soutage de type STS

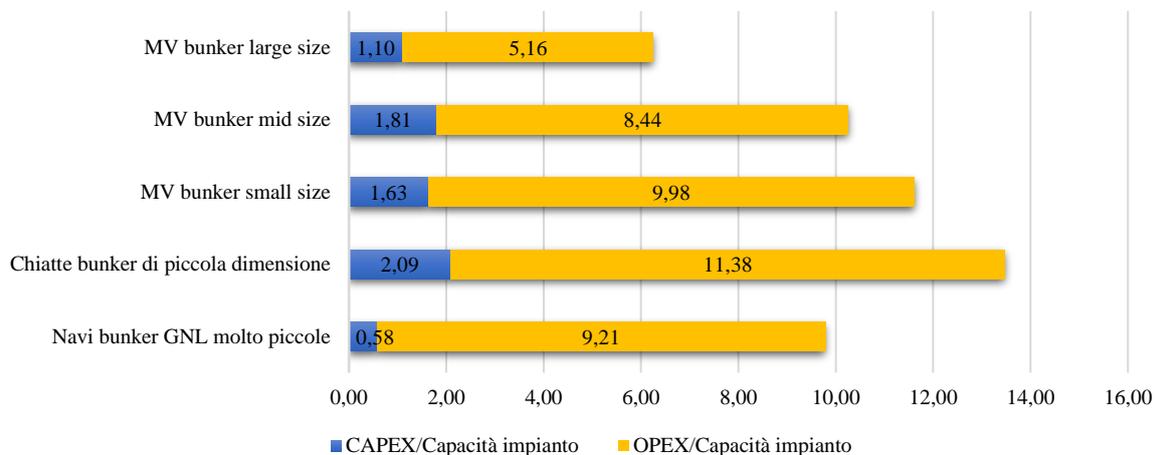
<b>LNG - BUNKERING MODE</b>	<b>S-t-S</b>				
<b>LNG - BUNKERING TYPE</b>	<b>Très petits navires de soutage du GNL</b>	<b>Petites barges de soutage</b>	<b>MV bunker small size</b>	<b>MV bunker mid size</b>	<b>MV bunker large size</b>
coûts du travail	3,63	4,06	3,44	2,29	0,57
Coûts de maintenance et de service technique	0,29	1,05	0,82	0,91	0,55
Coûts de l'énergie et des autres services publics	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19
Frais généraux d'administration, de sécurité et d'assurance	2,10	3,08	2,54	2,05	0,84
<b>opérationnel de l'infrastructure de soutage du GNL</b>	<b>9,21</b>	<b>11,38</b>	<b>9,98</b>	<b>8,44</b>	<b>5,16</b>
coûts du travail	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Coûts de maintenance et de service technique	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Coûts de l'énergie et des autres services publics	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Frais généraux d'administration, de sécurité et d'assurance	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
<b>Coûts de la supply chain du GNL</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>	<b>n.a.</b>
<b>Coût total de fonctionnement</b>	<b>9,21</b>	<b>11,38</b>	<b>9,98</b>	<b>8,44</b>	<b>5,16</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI e Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

L'examen des données collectées et les analyses économique-financière détaillées effectuées par l'ensemble du groupe de travail permettent de mettre en évidence l'existence de bénéfices évidents liés aux économies d'échelle de la plante, du fait que certains coûts (tels que les coûts de l'énergie et d'autres services publics) augmentent au fur et à mesure de la croissance de la plante mais de manière moins que proportionnelle par rapport à la taille elle-même. En outre, certains coûts, tels que les coûts de gestion du personnel, c'est-à-dire les coûts de main-d'œuvre et les coûts de personnel, restent même constants par rapport à des options telles que le "small size MV" ou le "large size MV". Il est particulièrement intéressant d'examiner l'évolution du coût annuel total (CAPEX par an + OPEX par an<sup>5</sup>) par unité de capacité annuelle de l'installation (visible dans la Figure 37), qui montre une variation en pourcentage du coût annuel par m<sup>3</sup> de capacité de production d'un maximum de -36% compte tenu du passage d'une petite taille de 200 m<sup>3</sup> à une grande taille de 30 000 m<sup>3</sup>.

<sup>5</sup> En ce qui concerne les valeurs des variables de coût CAPEX et OPEX, il convient de noter que les coûts de la logistique d'approvisionnement sont toujours inclus.

Figure 37: Coût total par an (CAPEX par an + OPEX par an) par m<sup>3</sup> de capacité de production des technologies STS



Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

#### 7.4.2. Truck to Ship (TTS)

En ce qui concerne la solution Truck to Ship (TTS), les cinq principales options de soutage se sont avérées être :

1. Iso-Container Sur Camion;
2. Bunkeraggio à travers Atb;
3. Iso-Container sur Skid;
4. Citerne Sur Skid;
5. Iso Container / Citerne Sur Multi-Track.
6. Dans ce cas également, une évaluation comparative des profils économique-financiers liés aux caractéristiques techniques et opérationnelles est ensuite fournie, en examinant les variables présentées dans le Tableau 38:

Tableau 38: Profils technico-opérationnels révélant l'analyse économique et financière des différentes options d'investissement liées à la solution technologique de soutage TTS

LNG - BUNKERING MODE	T-t-S				
LNG - BUNKERING TYPE	Iso-Container Sur Camion	Bunkeraggio travers Atb	Iso-Container Sur Skid	Citerne Sur Skid	Iso Container / Citerne Sru Multi-Track
Capacité moyenne du réservoir (m <sup>3</sup> )	40	50	40	40	40
Nombre de ravitaillements par jour	6	6	7	8	16
Temps de ravitaillement d'un réservoir (h)	4	4	3	3	1,5
<b>Capacité MAX annuelle (m<sup>3</sup>)</b>	<b>87.000</b>	<b>109.000</b>	<b>102.000</b>	<b>116.000</b>	<b>233.000</b>
Camions	6	6	8	9	16

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

Remorques	6		8	9	16
Semi Remorques		6			
<b>Nombre de moyens nécessaires pour la passation de marchés chaîne d'approvisionnement hebdomadaire</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>32</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Comme dans le cas de la solution STS, les coûts CAPEX et OPEX ont été examinés à la fois en termes absolus et par rapport au m<sup>3</sup> de capacité de production, en supposant dans ce cas une durée de vie utile de 20 ans (Tableau 39, Tableau 40, Tableau 41 et Tableau 42).

Tableau 39: Coût total CAPEX des solutions de soutage TTS

<b>LNG - BUNKERING MODE</b>	<b>T-t-S</b>				
<b>LNG - BUNKERING TYPE</b>	<b>Iso-Container Sur Camion</b>	<b>Bunkeraggio travers Atb</b>	<b>Iso-Container Sur Skid</b>	<b>Citerne Sur Skid</b>	<b>Iso Container / Citerne Sru Multi-Track</b>
Coûts de construction du storage du GNL IN/OUT	100.000	179.000	100.000	145.000	601.000
Les coûts de la construction du Transfert de GNL (out)	92.000	63.000	92.000	92.000	206.000
Coûts généraux de l'infrastructure GNL	28.800	30.800	103.800	110.550	121.050
Coûts de la supply chain du GNL	1.500.000	1.884.000	2.000.000	2.250.000	4.000.000
<b>Coût CAPEX total</b>	<b>1.720.800</b>	<b>2.156.800</b>	<b>2.295.800</b>	<b>2.597.550</b>	<b>4.928.050</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Tableau 40: Coût CAPEX annuel par m<sup>3</sup> de capacité de production des options de soutage de TTS, durée de vie de 20 ans

<b>LNG - BUNKERING MODE</b>	<b>T-t-S</b>				
<b>LNG - BUNKERING TYPE</b>	<b>Iso-Container Sur Camion</b>	<b>Bunkeraggio travers Atb</b>	<b>Iso-Container Sur Skid</b>	<b>Citerne Sur Skid</b>	<b>Iso Container / Citerne Sru Multi-Track</b>
Coûts de construction du storage du GNL IN/OUT	0,057	0,082	0,049	0,063	0,129
Les coûts de la construction du Transfert de GNL (out)	0,053	0,029	0,045	0,040	0,044
Coûts généraux de l'infrastructure GNL	0,017	0,014	0,051	0,048	0,026
Coûts de la supply chain du GNL	0,862	0,864	0,980	0,970	0,858
<b>Coût CAPEX unitaire annuel total</b>	<b>0,989</b>	<b>0,989</b>	<b>1,125</b>	<b>1,120</b>	<b>1,058</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Tableau 41: Coût OPEX annuel pour les solutions de soutage de type TTS

<b>LNG - BUNKERING MODE</b>	<b>T-t-S</b>				
<b>LNG - BUNKERING TYPE</b>	<b>Iso-Container Sur Camion</b>	<b>Bunkeraggio travers Atb</b>	<b>Iso-Container Sur Skid</b>	<b>Citerne Sur Skid</b>	<b>Iso Container / Citerne Sru Multi-Track</b>
Coûts du travail	650.000	650.000	650.000	650.000	740.000
Coûts de maintenance et de service technique	4.400	5.400	6.000	7.000	18.600
Coûts de l'énergie et des autres services publics	317.500	372.500	380.000	390.000	732.500
Frais généraux d'administration, de sécurité et d'assurance	329.400	330.400	331.000	332.000	388.600
<b>Coût opérationnel de l'infrastructure de soutage du GNL</b>	<b>1.301.300</b>	<b>1.358.300</b>	<b>1.367.000</b>	<b>1.379.000</b>	<b>1.879.700</b>
Coûts du travail	1.100.000	1.100.000	1.235.000	1.370.000	2.855.000
Coûts de maintenance et de service technique	30.000	37.680	40.000	45.000	80.000
Coûts de l'énergie et des autres services publics	136.500	136.500	159.250	182.000	364.000
Frais généraux d'administration, de sécurité et d'assurance	580.000	587.680	657.500	730.000	1.507.500
<b>Costi della supply chain del GNL</b>	<b>1.846.500</b>	<b>1.861.860</b>	<b>2.091.750</b>	<b>2.327.000</b>	<b>4.806.500</b>
<b>Costo operativo totale</b>	<b>3.147.800</b>	<b>3.220.160</b>	<b>3.458.750</b>	<b>3.706.000</b>	<b>6.686.200</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

L'analyse comparative, également pour les options d'investissement envisagées par rapport à la technologie TTS, montre une croissance des CAPEX en valeur absolue moins que proportionnelle à la croissance de la taille des installations, comme c'est le cas notamment dans la transition d'une option "conteneur ISO sur roues (40 m<sup>3</sup> de réservoir pour 6 unités)" à une option "conteneur ISO/citerne sur multivoie de 16 unités" où elle montre une augmentation de 7% du coût CAPEX global en termes absolus par rapport à une augmentation de la capacité de production annuelle de plus de 160%.

Tableau 42: Coût OPEX annuel par m<sup>3</sup> de capacité annuelle de l'installation pour les solutions de soutage de type TTS

<b>LNG - BUNKERING MODE</b>	<b>T-t-S</b>				
<b>LNG - BUNKERING TYPE</b>	<b>Iso-Container Sur Camion</b>	<b>Bunkeraggio travers Atb</b>	<b>Iso-Container Sur Skid</b>	<b>Citerne Sur Skid</b>	<b>Iso Container / Citerne Sru Multi-Track</b>
Coûts du travail	7,47	5,96	6,37	5,60	3,18
Coûts de maintenance et de service technique	0,05	0,05	0,06	0,06	0,08
Coûts de l'énergie et des autres services publics	3,65	3,42	3,73	3,36	3,14
Frais généraux d'administration, de sécurité et d'assurance	3,79	3,03	3,25	2,86	1,67
<b>Coût de fonctionnement de l'infrastructure de Soutage de GNL</b>	<b>14,96</b>	<b>12,46</b>	<b>13,40</b>	<b>11,89</b>	<b>8,07</b>

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



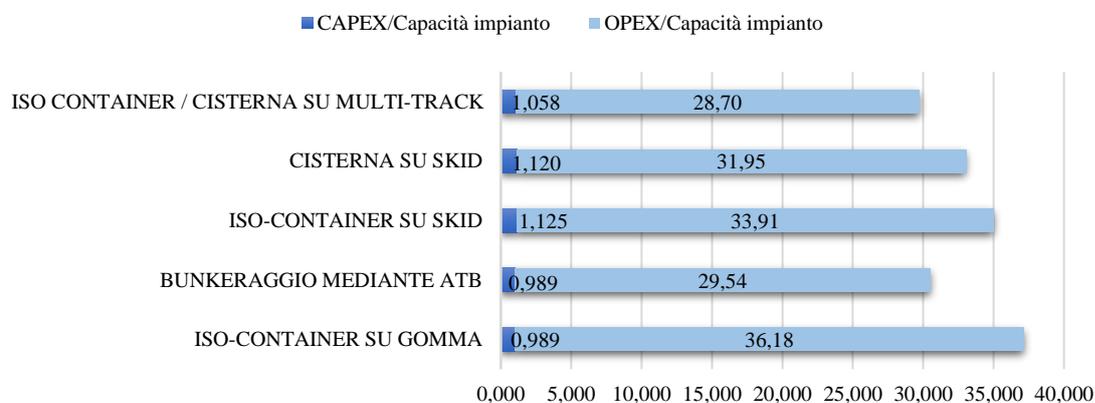
Coûts du travail	12,64	10,09	12,11	11,81	12,25
Coûts de maintenance et de service technique	0,34	0,35	0,39	0,39	0,34
Coûts de l'énergie et des autres services publics	1,57	1,25	1,56	1,57	1,56
Frais généraux d'administration, de sécurité et d'assurance	6,67	5,39	6,45	6,29	6,47
<b>Coûts de la supply chain du GNL</b>	<b>21,22</b>	<b>17,08</b>	<b>20,51</b>	<b>20,06</b>	<b>20,63</b>
<b>Coût unitaire total de fonctionnement</b>	<b>36,18</b>	<b>29,54</b>	<b>33,91</b>	<b>31,95</b>	<b>28,70</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Un raisonnement similaire peut alors être fait en ce qui concerne les coûts OPEX de l'installation, qui, comme le montre le Tableau 41, restent assez stables, sauf pour la solution ISO conteneur/citerne sur multivoie, pour laquelle il y a une augmentation considérable des coûts d'utilisation, des frais généraux et des coûts de main-d'œuvre bien compensée, cependant, par l'augmentation de la capacité de production de l'installation.

A la fin de l'analyse des coûts CAPEX et OPEX, les coûts totaux (calculés comme la somme des deux composantes mentionnées ci-dessus) ont été examinés, ce qui a montré comment, en pondérant la valeur des coûts pour la capacité annuelle des installations, un passage du conteneur ISO sur roues (6 unités) au conteneur ISO/citerne sur multivoie (16 unités) entraînerait une augmentation de 168% de la capacité de production annuelle de l'installation et une augmentation de 167% de la capacité de stockage, contre une diminution de 10% de ce coût par m<sup>3</sup> (Figure 38).

Figure 38: Coût annuel total par m<sup>3</sup> de capacité de production des technologies TTS



Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

### 7.4.3. Pipe to Ship (PTS)

En ce qui concerne cette solution technologique, qui est beaucoup plus souple que les précédentes parce qu'elle n'est pas affectée par le niveau de la mer, il a semblé approprié d'examiner les technologies suivantes :

1. Terminal côtier de GNL "Small Bullet Cylinders";
2. Terminal côtier de GNL "Mid-Size Bullet Cylinders";
3. Terminal côtier de GNL "Long-Bullet Cylinders ;
4. Terminal côtier de GNL "Secondaire" à la pression atmosphérique ;
5. Terminal côtier de GNL "Primaire" à la pression atmosphérique.

Aux fins de l'analyse comparative, les variables technico-opérationnelles présentées dans le Tableau 43 ont été définies et étudiées.



Tableau 43: Profils technico-opérationnels révélant l'analyse économique et financière des différentes options d'investissement liées à la solution technologique de soutage PTS

<b>LNG - BUNKERING MODE</b>	<b>P-t-S</b>				
<b>LNG - BUNKERING TYPE</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Small Bullet Cylinders"</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Mid-Size Bullet Cylinders"</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Long-Bullet Cylinders"</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Secondaire" à la Pression Atmosphérique</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Primaire" à la pression Atmosphérique</b>
Capacité moyenne du réservoir (m <sup>3</sup> )	640-1.000	9.000-10.000	20.000	20.000	50.000
Capacité d'envoi (m/h <sup>3</sup> )	80-100	1.000	n.a	n.a	n.a
Longueur du pipeline de soutage (m)	250	1.000	1000	1.000	1.000
Terrain (m <sup>3</sup> )	2.900	15.000	50.000	15.000	20.000
Nombre de véhicules nécessaires pour le ravitaillement en carburant du réservoir par semaine	16 ISO container/1 barge 500-1000 m <sup>3</sup>	2 navires feeder de 7.500 m <sup>3</sup>	2 navires feeder de 15.000 m <sup>3</sup>	2 navires feeder da 15.000 m <sup>3</sup>	2 navires feeder da 30.000 m <sup>3</sup>
<b>Capacité MAX annuelle (m<sup>3</sup>)</b>	<b>233.000</b>	<b>780.000</b>	<b>1.560.000</b>	<b>1.560.000</b>	<b>3.120.000</b>
ISO container	19				
Navire feeder (7.500 m <sup>3</sup> )		1			
Navire feeder (15.000 m <sup>3</sup> )			1	1	
Navire feeder (30.000 m <sup>3</sup> )					1
<b>Nombre de véhicules nécessaires pour l'approvisionnement hebdomadaire de la chaîne logistique</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

En ce qui concerne les CAPEX, les mêmes analyses ont été effectuées que pour les autres options d'investissement liées aux technologies précédentes (Tableau 44 e Tableau 45) qui ont abouti à des résultats très similaires, montrant une augmentation en valeur absolue moins que proportionnelle à la tendance de la capacité d'approvisionnement de l'installation considérée.

Tableau 44: Coût CAPEX total des solutions de soutage du STP

<b>LNG - BUNKERING MODE</b>	<b>P-t-S</b>				
<b>LNG - BUNKERING TYPE</b>	Terminal côtier De Gnl "Small Bullet Cylinder s"	Terminal côtier De Gnl "Mid-Size Bullet Cylinder s"	Terminal côtier De Gnl "Long-Bullet Cylinder s"	Terminal côtier De Gnl "Secondaire" à la Pression Atmosphérique	Terminal côtier De Gnl "Primaire" à la pression Atmosphérique
Coûts de construction du Storage du GNL IN/OUT	3.283.000	33.143.000	67.315.000	31.635.000	62.852.000
Les coûts de la construction du Transfert de GNL ( out)	1.898.000	8.040.000	8.415.000	8.415.000	9.165.000
Coûts généraux de l'infrastructure GNL	1.212.150	8.427.450	18.859.500	8.257.500	13.802.550
Coûts de la supply chain du GNL	4.750.000	35.300.000	61.000.000	61.000.000	86.100.000
<b>Coût CAPEX total</b>	<b>11.143.150</b>	<b>84.910.450</b>	<b>155.589.500</b>	<b>109.307.500</b>	<b>171.919.550</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Tableau 45: Coût annuel des CAPEX par m<sup>3</sup> de capacité de production des options de soutage du STP, durée de vie de 30 ans

<b>LNG - BUNKERING MODE</b>	<b>P-t-S</b>				
<b>LNG - BUNKERING TYPE</b>	Terminal côtier De Gnl "Small Bullet Cylinder s"	Terminal côtier De Gnl "Mid-Size Bullet Cylinder s"	Terminal côtier De Gnl "Long-Bullet Cylinder s"	Terminal côtier De Gnl "Secondaire" à la Pression Atmosphérique	Terminal côtier De Gnl "Primaire" à la pression Atmosphérique
Coûts de construction du Storage du GNL IN/OUT	0,470	1,416	1,438	0,676	0,671
Les coûts de la construction du Transfert de GNL ( out)	0,272	0,344	0,180	0,180	0,098
Coûts généraux de l'infrastructure GNL	0,173	0,360	0,403	0,176	0,147
Coûts de la supply chain du GNL	0,680	1,509	1,303	1,303	0,920
<b>Coût CAPEX unitaire total annuel</b>	<b>1,594</b>	<b>3,629</b>	<b>3,325</b>	<b>2,336</b>	<b>1,837</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

En ce qui concerne les coûts OPEX, le Tableau 46 présente les données relatives aux coûts d'exploitation annuels en termes absolus pour chaque option de type PTS, tandis que le Tableau 47 indique le coût OPEX (annuel) par unité de capacité annuelle de l'installation.

Tableau 46: Coût OPEX annuel pour les solutions de soutage de type PTS

<b>LNG - BUNKERING MODE</b>	<b>P-t-S</b>				
<b>LNG - BUNKERING TYPE</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Small Bullet Cylinders"</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Mid-Size Bullet Cylinders"</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Long-Bullet Cylinders"</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Secondaire" à la Pression Atmosphérique</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Primaire" à la pression Atmosphérique</b>
Coûts du travail	980.000	1.505.000	1.850.000	1.505.000	1.505.000
Coûts de maintenance et de service technique	128.000	992.000	1.892.000	966.000	1.716.000
Coûts de l'énergie et des autres services publics	743.500	2.488.750	4.977.250	4.977.250	9.954.750
Coûts de l'administration générale, de la sécurité et des assurances	618.000	1.744.500	2.817.000	1.718.500	2.468.500
<b>Coût opérationnel de l'infrastructure de soutage du GNL</b>	<b>2.469.500</b>	<b>6.730.250</b>	<b>11.536.250</b>	<b>9.166.750</b>	<b>15.644.250</b>
Coûts du travail	2.855.000	1.550.000	1.550.000	1.550.000	1.550.000
Coûts de maintenance et de service technique	95.000	706.000	1.220.000	1.220.000	1.722.000
Coûts de l'énergie et des autres services publics	364.000	511.599	680.609	680.609	849.618
Coûts de l'administration générale, de la sécurité et des assurances	1.522.500	1.481.000	1.995.000	1.995.000	2.497.000
<b>Coûts de la supply chain du GNL</b>	<b>4.836.500</b>	<b>4.248.599</b>	<b>5.445.609</b>	<b>5.445.609</b>	<b>6.618.618</b>
<b>Coût total de fonctionnement</b>	<b>7.306.000</b>	<b>10.978.849</b>	<b>16.981.859</b>	<b>14.612.359</b>	<b>22.262.868</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Tableau 47: Coût OPEX annuel par m<sup>3</sup> de capacité annuelle de l'installation pour les solutions de soutage de type PTS

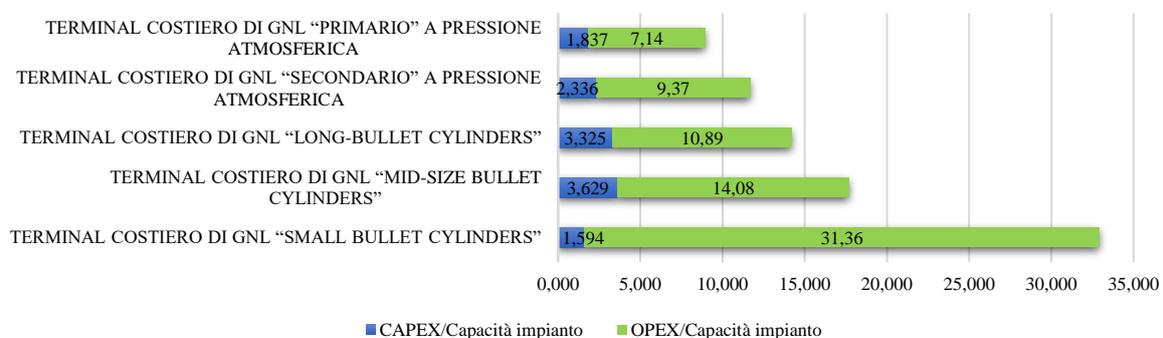
<b>LNG - BUNKERING MODE</b>	<b>P-t-S</b>				
<b>LNG - BUNKERING TYPE</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Small Bullet Cylinders"</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Mid-Size Bullet Cylinders"</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Long-Bullet Cylinders"</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Secondaire" à la Pression Atmosphérique</b>	<b>Terminal côtier De Gnl "Primaire" à la pression Atmosphérique</b>
Costo del lavoro	4,21	1,93	1,19	0,96	0,48
Costi di manutenzione e di servizi tecnici	0,55	1,27	1,21	0,62	0,55
Costi per l'energia e altre utenze	3,19	3,19	3,19	3,19	3,19
Costi generali di amministrazione, safety e assicurativi	2,65	2,24	1,81	1,10	0,79
<b>Costo operativo dell'infrastruttura di bunkering GNL</b>	<b>10,60</b>	<b>8,63</b>	<b>7,40</b>	<b>5,88</b>	<b>5,01</b>
Costo del lavoro	12,25	1,99	0,99	0,99	0,50
Costi di manutenzione e di servizi tecnici	0,41	0,91	0,78	0,78	0,55
Costi per l'energia e altre utenze	1,56	0,66	0,44	0,44	0,27
Costi generali di amministrazione, safety e assicurativi	6,53	1,90	1,28	1,28	0,80
<b>Costi della supply chain del GNL</b>	<b>20,76</b>	<b>5,45</b>	<b>3,49</b>	<b>3,49</b>	<b>2,12</b>
<b>Costo operativo unitario totale annuo</b>	<b>31,36</b>	<b>14,08</b>	<b>10,89</b>	<b>9,37</b>	<b>7,14</b>

Source: Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Il ressort notamment des analyses ci-dessus que, en ce qui concerne les coûts d'exploitation, il y a aussi les avantages liés aux économies d'échelle de l'installation car, à mesure que la taille de l'installation de stockage/d'avitaillement en GNL augmente, les coûts d'exploitation du stockage et de l'approvisionnement augmentent moins que proportionnellement à l'augmentation de la taille de l'installation, tandis que le poste "coûts de main-d'œuvre" diminue à mesure que l'installation se développe en raison du niveau d'automatisation plus élevé de la technologie.

Enfin, en considérant la valeur du coût annuel total pondéré pour la capacité annuelle de l'usine (comme cela a été fait pour les deux solutions technologiques précédentes), il a été constaté qu'un passage de l'option du terminal côtier de GNL small bullet cylinders (1 000 m<sup>3</sup> de réservoir) au terminal côtier "primaire" de GNL à la pression atmosphérique (50 000 m<sup>3</sup> de réservoir) entraîne une réduction du coût total (CAPEX par an + OPEX par an) par m<sup>3</sup> de GNL produit par l'installation de 75% (Figure 39).

Figure 39: Coût annuel total par m<sup>3</sup> de capacité de production des technologies PTS



Source : Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

#### 7.4.4. Comparaison des coûts OPEX-CAPEX des différentes solutions de soutage de GNL analysées

Le chapitre 4.4 du produit T2.3.1 compare les différents profils économique-financiers des options de soutage de GNL étudiées, en mettant particulièrement l'accent sur les coûts annuels en termes absolus et les coûts annuels pondérés pour la capacité annuelle des installations, étant donné que cette dernière est essentielle aux fins de l'analyse des performances économique-financières des investissements dans ces technologies, appelée "marge d'analyse multi scénarios" et décrite dans le dernier chapitre.

L'analyse comparative des coûts annuels des différentes méthodes analysées a été effectuée à la fois sur les postes de coûts OPEX et CAPEX et sur les coûts totaux des différentes méthodes de soutage du GNL étudiées.

Les options de soutage du STP sont évidemment les plus "capital intensive", tandis que les différentes options d'investissement liées à la technologie du STP sont diamétralement opposées. Les options de STP, caractérisées par une taille d'installation plus importante, une capacité globale de prestation de services plus élevée, un niveau technologique élevé de referment et des coûts plus élevés liés à l'entretien ordinaire, à la gestion du personnel et à une consommation d'énergie plus importante, impliquent un investissement initial de l'ordre de 6x-60x et des coûts d'exploitation annuels de l'ordre de 2x-5x par rapport aux solutions de STP.

Les solutions STS, dont le dimensionnement en termes de capacité de stockage de GNL est en général plus proche des solutions PTS, mais moins complexe sur le plan technologique, sont moins "capital intensive" en termes de coût annuel absolu (CAPEX, OPEX et totaux) que les solutions PTS mais pas

par rapport aux solutions TTS, représentant ainsi une voie intermédiaire en termes économiques entre les différents modes analysés.

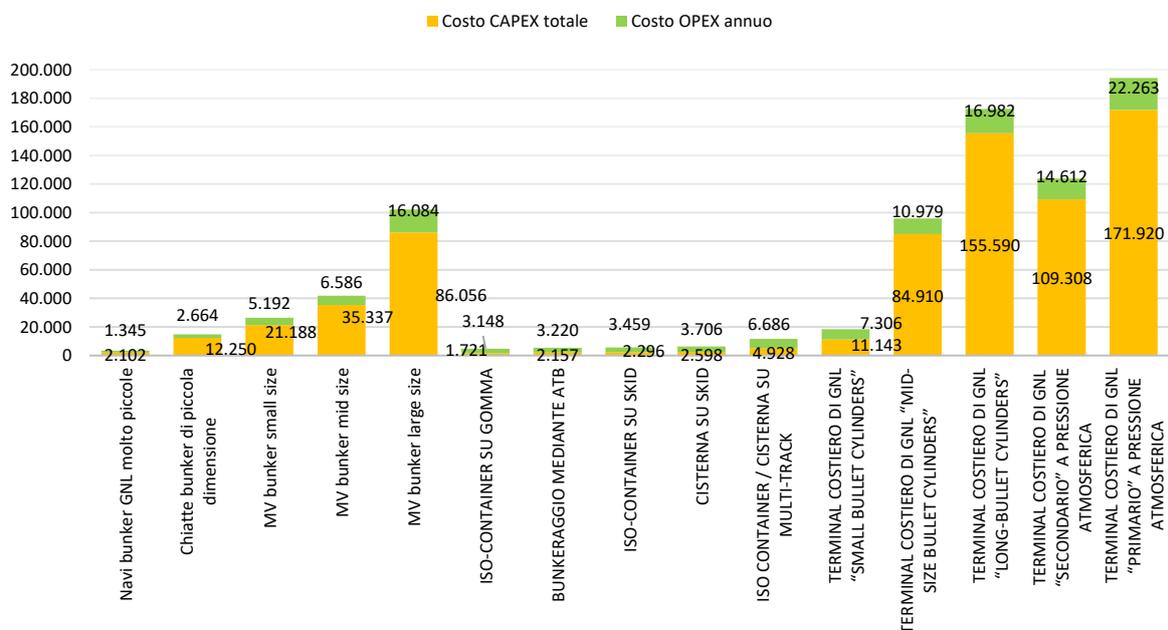
Cela dit, il est toutefois souligné que le raisonnement en termes absolus ne tient pas compte des différentes tailles des usines, et en particulier de leurs différentes capacités de production.

Par conséquent, si les installations de STP peuvent sembler être les plus coûteuses et les moins économiques en termes absolus, du point de vue des coûts annuels pondérés en fonction de la capacité, elles constituent des options de soutage de GNL moins coûteuses par m<sup>3</sup> de capacité de production que les installations de STP.

Cet effet d'échelle des installations est visible à la fois dans la Figure 40, où est indiqué le coût total de la première année d'exploitation des différentes installations de soutage de GNL, en considérant le coût total des investissements (CAPEX) plus le coût annuel des dépenses d'exploitation (OPEX), et dans la

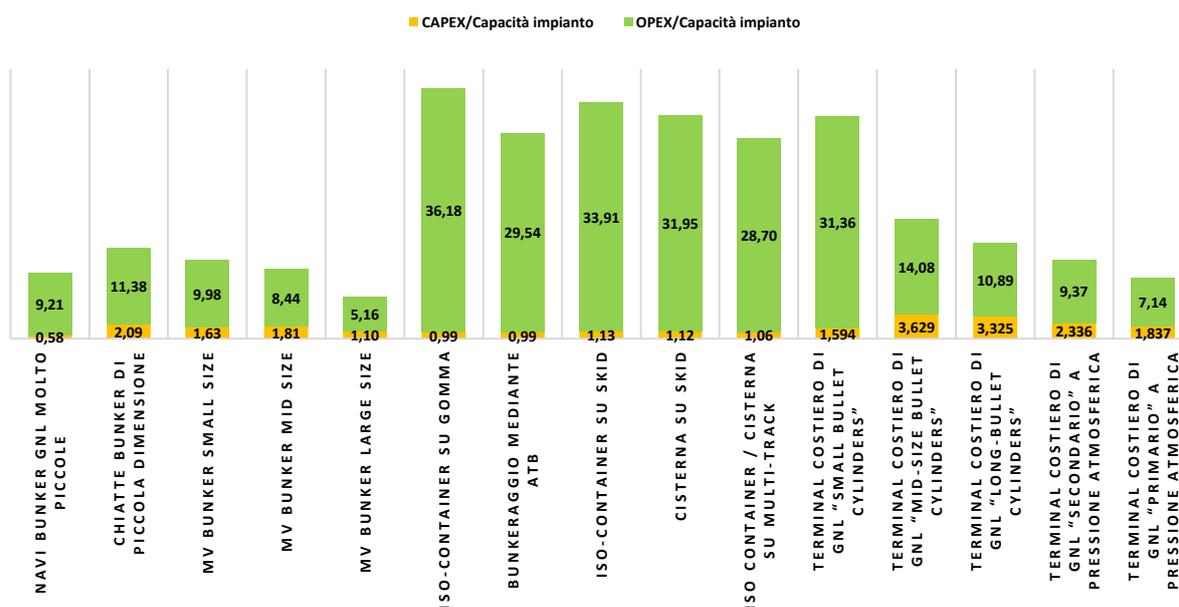
Figure 41, où est indiqué le coût annuel total des différentes installations pondéré en fonction de la capacité.

Figure 40: Coûts totaux (CAPEX total + OPEX annuel) des solutions de soutage de GNL du type STS-TTS-PTS ; chiffres en milliers d'euros



Source: Assocostieri Servizi Srl/UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Figure 41: Coûts annuels totaux (CAPEX par an + OPEX par an) par unité de capacité (m<sup>3</sup>) des solutions de soutage de GNL de type STS-TTS-PTS



Source : Assocostieri Servizi Srl/ UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

L'examen des données rapportées dans les chiffres précédents permet de constater que, bien que les coûts totaux de l'investissement dans l'infrastructure GNL pour la première année d'activité (CAPEX total + OPEX annuel) soient plus élevés pour les solutions STP et STS, raisonnant plutôt en termes de coût annuel total (CAPEX annuel + OPEX annuel) pondéré par la capacité de l'installation, les solutions STP sont les moins économiques car ce sont les solutions ayant les coûts totaux les plus bas en termes absolus mais aussi les niveaux de capacité de production les plus bas.

En fait, les coûts totaux annuels pondérés des solutions TTS se situent entre 30 et 37 euros par m<sup>3</sup> de capacité de production, tandis que les solutions STS ont les meilleures performances avec une fourchette de coût total annuel par capacité de production comprise entre 6 et 13,5 euros par m<sup>3</sup>.

Les chiffres du coût annuel total pondéré pour les options de STS sont similaires à ceux des solutions STS, à l'exclusion de la solution à plus faible capacité "terminal costiero GNL small bullet cylinders", bien que l'investissement dans les technologies de type STS nécessite un investissement initial nettement plus élevé, ce qui implique un coût annuel total légèrement plus élevé en termes de m<sup>3</sup> de capacité de production que pour les solutions STS, dans une fourchette comprise entre 9 et 33 euros par m<sup>3</sup>.

En conclusion, il apparaît que, bien qu'en termes absolus, les solutions PTS et STS nécessitent sans aucun doute un investissement initial plus important et entraînent des exigences financières plus élevées que les options d'investissement de type TTS examinées dans le cadre du projet, en termes pondérés par

les capacités de production des installations, ces solutions sont économiquement et financièrement préférables.

Bien entendu, outre les aspects économiques et financiers des différentes solutions de soutage du GNL analysées, les contraintes opérationnelles et techniques des terminaux et les contraintes du marché doivent être prises en compte lors du choix entre un type d'installation de soutage et un autre.

### **7.5. Analyse du mark up multi-scenario**

Suite à l'analyse des coûts des différentes solutions de soutage du GNL, une analyse "Mark up multi scenario" a été réalisée afin d'identifier d'autres indicateurs économique-financiers possibles pour exprimer une première évaluation générale des projets d'investissement relatifs à la construction d'infrastructures de soutage/stockage du GNL dans le secteur portuaire en adoptant diverses technologies alternatives.

Cette analyse a été réalisée sur la base d'hypothèses multiscénarios sur le prix de vente des services d'approvisionnement en GNL, ce qui a permis d'établir des tableaux de flux de trésorerie pour les investissements dans les différentes solutions de soutage de GNL étudiées.

Afin d'identifier la fourchette de prix finale du service de soutage de GNL qui permettrait de formuler les tableaux de flux de trésorerie pour les investissements dans les différentes options technologiques de soutage de GNL analysées, la valeur du "coût variable par m<sup>3</sup> de GNL matière première acheté par les différentes installations de soutage de GNL" a d'abord été recherchée puis 3 majorations différentes ont été appliquées à ce chiffre de coût, en supposant une utilisation maximale des installations conformément aux hypothèses formulées au paragraphe 1.4.

Dans un souci de simplification, un coût d'achat du GNL constant par m<sup>3</sup> a été supposé pour toutes les technologies étudiées, quel que soit le volume de GNL acheté et géré par l'infrastructure. Cette hypothèse est évidemment irréaliste et en tout cas banalisante, mais elle est essentielle en raison du niveau de complexité déjà élevé lié aux processus d'estimation et d'évaluation réalisés dans le cadre des activités techniques T2.3 du projet TDI RETE GNL.

Comme approximation du coût variable par m<sup>3</sup> de matière première, la moyenne des prix du GNL du PEG Nord des 5 dernières années a été utilisée, c'est-à-dire le prix du GNL échangé au point d'échange de gaz (PEG Nord), communément appelé PEG Nord, qui est l'un des 3 points d'échange virtuels pour la vente, l'achat et l'échange de gaz naturel et de GNL en France.

Le choix d'utiliser la moyenne sur cinq ans est dû au fait que le 6 août, il est apparu que 1 m<sup>3</sup> de GNL dans le PEG Nord Hub était négocié à 7 euros par MWh et, considérant que 1 m<sup>3</sup> de GNL équivaut à 6,933 MWh, le prix en août 2020 était de près de 50 euros par m<sup>3</sup>, ce qui est historiquement très bas, en raison de la réduction de la consommation et de la chute subséquente des prix des matières premières énergétiques par rapport à la pandémie COVID19, et donc non représentatif du prix réel du marché et du prix futur éventuel de cette matière première.

En outre, à des fins prudentielles, une marge de sécurité de 2 euros par MWh (GNL = PEG + 2 euros par MWh) a été ajoutée à la valeur moyenne sur cinq ans du PEG, qui est de 20 euros par MWh.

En conclusion, en utilisant un prix par m<sup>3</sup> de GNL de 22 euros par MWh, la valeur marchande du m<sup>3</sup> de GNL s'est avérée être de 150 euros par m<sup>3</sup>.

Ainsi, après avoir identifié le coût variable par m<sup>3</sup> de matière première, une analyse multiscénario basée sur trois niveaux de marge bénéficiaire différents paramétrés à ce coût a été réalisée :



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



- ✓ scénario bas : Prix final du service = Coût total de la matière première + 10% (165 euros par m<sup>3</sup>)
- ✓ scénario de base : prix final du service = coût total de la matière première + 20% (180 euros par m<sup>3</sup>)
- ✓ scénario haut : prix final du service = coût total de la matière première + 30% (195 euros par m<sup>3</sup>)

Après la définition des trois différents scénarios, après avoir identifié la fourchette de prix finale hypothétique du service de soutage de GNL, l'analyse des flux de trésorerie actualisés (DCFA - Discounted Cash Flow Analysis) qui sous-tend chacune des hypothèses d'investissement dans les installations de soutage de GNL analysées a été réalisée.

À cette fin, outre l'hypothèse d'une utilisation maximale des installations et du coût d'achat de la matière première, qui est constant et indépendant des volumes achetés, 5 hypothèses de fonctionnement ont été définies sur la base des tableaux des flux de trésorerie élaborés pour chaque solution de soutage de GNL étudiée, qui sont énumérés et expliqués ci-dessous :

- ✓ un taux d'inflation de 2 % par an ;
- ✓ la durée de vie économique des technologies : STS = 25 ans ; TTS = 20 ans ; PTS = 30 ans ;
- ✓ Pas d'opérations de maintenance extraordinaires (hypothèse extrêmement simplificatrice) ;
- ✓ Valeur finale de l'infrastructure égale à 0 (les analyses futures devraient plutôt prendre en compte le risque probable d'avoir une valeur finale négative de l'infrastructure en raison des coûts de démantèlement de l'infrastructure) ;
- ✓ Coût pondéré du capital (WACC) = 5,77 % (voir détails ci-dessous).

Le taux d'inflation de 2 % par an, c'est-à-dire le taux d'intérêt appliqué aux tendances futures des coûts/revenus et non le taux d'inflation utilisé pour calculer le taux d'actualisation, a été appliqué pour décrire l'effet de l'obsolescence technologique et l'effet du développement des systèmes économiques.

En fait, il a été supposé qu'à partir de la sixième année de vie des installations, les coûts d'exploitation augmenteront en raison du fait que les technologies de soutage du GNL commenceront à nécessiter plus de maintenance et de main-d'œuvre.

En outre, comme l'indique la BCE, le taux d'inflation de 2 % par an décrit un système économique en développement, et l'on suppose donc que les matériaux utilisés pour l'entretien, les réparations et les remplacements, principalement des pièces métalliques, augmenteront également leur valeur de revient.

Il convient de noter que le taux d'inflation en question n'a pas été appliqué au coût de la matière première GNL car, comme décrit, le coût par m<sup>3</sup> de GNL acheté est dérivé du coût moyen du PEG GNL au cours des 5 dernières années, qui est à ce jour de +300% par rapport à la valeur actuelle de la matière première GNL. En outre, le prix final étant lié au prix d'achat de la matière première, l'application du taux d'inflation au coût de la matière première n'aurait aucun impact en termes de flux de trésorerie.<sup>6</sup>

En outre, dans les tableaux des flux de trésorerie établis pour chaque solution de soutage du GNL étudiée, aucune valeur finale de l'infrastructure n'a été définie, ce qui, dans le cas des solutions STS, est généralement positif et est donné soit par la valeur de revente soit par la valeur de démolition, c'est-à-dire la valeur du fer présent dans l'infrastructure, tandis que pour les solutions PTS et TTS, elle est généralement négative, ce qui entraîne les coûts économiques de démantèlement de ces technologies en

---

<sup>6</sup> Pour cette raison, le taux d'inflation a été appliqué uniquement aux coûts d'exploitation et non aux recettes.

fin de vie. Cette hypothèse a été retenue car le groupe de travail ne disposait pas des données sur les coûts de maintenance extraordinaires des technologies en question<sup>7</sup>.

Enfin, afin de développer les modèles de trésorerie et d'estimer la VAN du projet (valeur actuelle nette des flux de trésorerie) des différentes options analysées, il a été nécessaire d'identifier le coût pondéré du capital utilisé (WACC)<sup>8</sup>.

Grâce à la mise en œuvre des hypothèses décrites ici et à la mise en place conséquente de modèles de trésorerie pour identifier la faisabilité économique des solutions de soutage de GNL analysées, les indicateurs économiques et financiers suivants de l'investissement ont été mis en évidence :

- ✓ ROI de l'investissement : retour sur investissement ;
- ✓ BEP de l'investissement : seuil de rentabilité (seuil de rentabilité exprimé en années) ;
- ✓ VAN de l'investissement : valeur actuelle nette de l'investissement.
- ✓ TRI (taux de rendement interne) de l'investissement : taux de rendement interne de l'investissement

Les tableaux suivants (Tableau 48, Tableau 49, Tableau 50, Tableau 51, Tableau 52, Tableau 53, Tableau 54,

Tableau 55, Tableau 56) présentent les données relatives à ces indicateurs financiers selon les différentes hypothèses de scénario et pour les différents types de solutions de soutage de GNL analysés :

---

<sup>7</sup> Pour les solutions STS étudiées, les opérations de maintenance extraordinaires sont généralement effectuées tous les 2,5 ans (dry dock costs) pendant la durée de vie de l'actif. Dans ce cas précis, les hypothèses de valeur finale nulle et de coûts de maintenance extraordinaires nuls sont partiellement compensées par le fait que la valeur finale de l'actif est positive et cohérente.

<sup>8</sup> Le WACC, acronyme de Weighted Average Cost of Capital (coût moyen pondéré du capital), est compris comme le coût que la société/l'investisseur doit supporter pour obtenir des ressources financières auprès des actionnaires et des tiers prêteurs. Il s'agit d'une moyenne pondérée entre le coût des capitaux propres et le coût de la dette, les "poids" étant représentés par les capitaux propres et la dette financière totale. Ce chiffre est tiré des analyses annuelles effectuées par le professeur Damodaran de l'université d'économie de New York, qui estime à 5,77 % le coût du capital pour les investissements en infrastructures et en technologie dans le secteur "maritime", en supposant un coût du capital de type "équité" de 10,49 %, un coût du capital de type "dette" de 3,37 %, un levier financier de 47 %, un bêta sectoriel de 1,43 et un taux d'inflation prévu de 0,2 % pour l'euro et de 1,5 % pour le dollar.

Dans ce cas précis, puisque le WACC rapporté par Damodaran est exprimé en termes d'USD, afin de le convertir en WACC sur une base d'euro, le WACC USD doit être multiplié par le rapport de l'inflation prévue de l'euro sur le dollar.

Le WACC est donc le taux d'actualisation des flux de trésorerie utilisé pour étudier la VAN. Afin de comprendre si un investissement est rentable, le taux de WACC doit être acheté au taux IRR ; si le taux IRR est supérieur au WACC, alors l'investissement est rentable.

Tableau 48: Entrées et sorties d'argent provenant de diverses solutions de soutage du GNL de type TTS ; scénario base-haut (en milliers d'euros)

T	ISO-CONTAINER SUR CAMION				SOUTAGE A TRAVERS ATB				ISO-CONTAINER SUR SKID				CITERNE SUR SKID				ISO CONTAINER / CITERNE SUR MULTI-TRACK			
	Flux U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)	Flux U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)	Flux U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)	Flux U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)	Flux U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)
0	1.721				2.157				2.296				2.598				4.928			
1	16.198	14.355	15.660	16.965	19.570	17.985	19.620	21.255	18.759	16.830	18.360	19.890	21.106	19.140	20.880	22.620	41.636	38.445	41.940	45.435
2	16.198	14.355	15.660	16.965	19.570	17.985	19.620	21.255	18.861	16.830	18.360	19.890	21.106	19.140	20.880	22.620	41.636	38.445	41.940	45.435
3	16.198	14.355	15.660	16.965	19.570	17.985	19.620	21.255	18.963	16.830	18.360	19.890	21.106	19.140	20.880	22.620	41.636	38.445	41.940	45.435
4	16.198	14.355	15.660	16.965	19.570	17.985	19.620	21.255	19.065	16.830	18.360	19.890	21.106	19.140	20.880	22.620	41.636	38.445	41.940	45.435
5	16.198	14.355	15.660	16.965	19.570	17.985	19.620	21.255	19.167	16.830	18.360	19.890	21.106	19.140	20.880	22.620	41.636	38.445	41.940	45.435
6	16.261	14.355	15.660	16.965	19.635	17.985	19.620	21.255	19.338	16.830	18.360	19.890	21.180	19.140	20.880	22.620	41.770	38.445	41.940	45.435
7	16.325	14.355	15.660	16.965	19.700	17.985	19.620	21.255	19.510	16.830	18.360	19.890	21.256	19.140	20.880	22.620	41.906	38.445	41.940	45.435
8	16.390	14.355	15.660	16.965	19.767	17.985	19.620	21.255	19.684	16.830	18.360	19.890	21.333	19.140	20.880	22.620	42.045	38.445	41.940	45.435
9	16.457	14.355	15.660	16.965	19.836	17.985	19.620	21.255	19.860	16.830	18.360	19.890	21.411	19.140	20.880	22.620	42.187	38.445	41.940	45.435
10	16.525	14.355	15.660	16.965	19.905	17.985	19.620	21.255	20.037	16.830	18.360	19.890	21.492	19.140	20.880	22.620	42.332	38.445	41.940	45.435
11	16.595	14.355	15.660	16.965	19.976	17.985	19.620	21.255	20.215	16.830	18.360	19.890	21.574	19.140	20.880	22.620	42.480	38.445	41.940	45.435
12	16.666	14.355	15.660	16.965	20.049	17.985	19.620	21.255	20.395	16.830	18.360	19.890	21.657	19.140	20.880	22.620	42.630	38.445	41.940	45.435
13	16.738	14.355	15.660	16.965	20.123	17.985	19.620	21.255	20.576	16.830	18.360	19.890	21.742	19.140	20.880	22.620	42.784	38.445	41.940	45.435
14	16.812	14.355	15.660	16.965	20.198	17.985	19.620	21.255	20.760	16.830	18.360	19.890	21.829	19.140	20.880	22.620	42.941	38.445	41.940	45.435
15	16.887	14.355	15.660	16.965	20.275	17.985	19.620	21.255	20.944	16.830	18.360	19.890	21.918	19.140	20.880	22.620	43.100	38.445	41.940	45.435
16	16.964	14.355	15.660	16.965	20.354	17.985	19.620	21.255	21.131	16.830	18.360	19.890	22.008	19.140	20.880	22.620	43.263	38.445	41.940	45.435
17	17.042	14.355	15.660	16.965	20.434	17.985	19.620	21.255	21.319	16.830	18.360	19.890	22.100	19.140	20.880	22.620	43.430	38.445	41.940	45.435
18	17.122	14.355	15.660	16.965	20.516	17.985	19.620	21.255	21.508	16.830	18.360	19.890	22.194	19.140	20.880	22.620	43.599	38.445	41.940	45.435
19	17.203	14.355	15.660	16.965	20.599	17.985	19.620	21.255	21.700	16.830	18.360	19.890	22.290	19.140	20.880	22.620	43.772	38.445	41.940	45.435
20	17.287	14.355	15.660	16.965	20.684	17.985	19.620	21.255	21.893	16.830	18.360	19.890	22.388	19.140	20.880	22.620	43.949	38.445	41.940	45.435
<b>TOT</b>	<b>333.985</b>	<b>287.100</b>	<b>313.200</b>	<b>339.300</b>	<b>402.059</b>	<b>359.700</b>	<b>392.400</b>	<b>425.100</b>	<b>405.979</b>	<b>336.600</b>	<b>367.200</b>	<b>397.800</b>	<b>434.499</b>	<b>382.800</b>	<b>417.600</b>	<b>452.400</b>	<b>855.299</b>	<b>768.900</b>	<b>838.800</b>	<b>908.700</b>

Source: UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Tableau 49: Total des flux de trésorerie, ROI, IRR et BEP des différentes solutions de soutage du GNL de type TTS ; scénario base-haut (en milliers d'euros)

T	ISO-CONTAINER SUR CAMION			SOUTAGE A TRAVERS ATB			ISO-CONTAINER SUR SKID			CITERNE SUR SKID			ISO CONTAINER / CITERNE SUR MULTI-TRACK		
	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)
0	-1.721	-1.721	-1.721	-2.157	-2.157	-2.157	-2.296	-2.296	-2.296	-2.598	-2.598	-2.598	-4.928	-4.928	-4.928
1	-1.843	-538	767	-1.585	50	1.685	-1.929	-399	1.131	-1.966	-226	1.514	-3.191	304	3.799
2	-1.843	-538	767	-1.585	50	1.685	-2.031	-501	1.029	-1.966	-226	1.514	-3.191	304	3.799
3	-1.843	-538	767	-1.585	50	1.685	-2.133	-603	927	-1.966	-226	1.514	-3.191	304	3.799
4	-1.843	-538	767	-1.585	50	1.685	-2.235	-705	825	-1.966	-226	1.514	-3.191	304	3.799
5	-1.843	-538	767	-1.585	50	1.685	-2.337	-807	723	-1.966	-226	1.514	-3.191	304	3.799
6	-1.906	-601	704	-1.650	-15	1.620	-2.508	-978	552	-2.040	-300	1.440	-3.325	170	3.665
7	-1.970	-665	640	-1.715	-80	1.555	-2.680	-1.150	380	-2.116	-376	1.364	-3.461	34	3.529
8	-2.035	-730	575	-1.782	-147	1.488	-2.854	-1.324	206	-2.193	-453	1.287	-3.600	-105	3.390
9	-2.102	-797	508	-1.851	-216	1.419	-3.030	-1.500	30	-2.271	-531	1.209	-3.742	-247	3.248
10	-2.170	-865	440	-1.920	-285	1.350	-3.207	-1.677	-147	-2.352	-612	1.128	-3.887	-392	3.103
11	-2.240	-935	370	-1.991	-356	1.279	-3.385	-1.855	-325	-2.434	-694	1.046	-4.035	-540	2.955
12	-2.311	-1.006	299	-2.064	-429	1.206	-3.565	-2.035	-505	-2.517	-777	963	-4.185	-690	2.805
13	-2.383	-1.078	227	-2.138	-503	1.132	-3.746	-2.216	-686	-2.602	-862	878	-4.339	-844	2.651
14	-2.457	-1.152	153	-2.213	-578	1.057	-3.930	-2.400	-870	-2.689	-949	791	-4.496	-1.001	2.494
15	-2.532	-1.227	78	-2.290	-655	980	-4.114	-2.584	-1.054	-2.778	-1.038	702	-4.655	-1.160	2.335
16	-2.609	-1.304	1	-2.369	-734	901	-4.301	-2.771	-1.241	-2.868	-1.128	612	-4.818	-1.323	2.172
17	-2.687	-1.382	-77	-2.449	-814	821	-4.489	-2.959	-1.429	-2.960	-1.220	520	-4.985	-1.490	2.005
18	-2.767	-1.462	-157	-2.531	-896	739	-4.678	-3.148	-1.618	-3.054	-1.314	426	-5.154	-1.659	1.836
19	-2.848	-1.543	-238	-2.614	-979	656	-4.870	-3.340	-1.810	-3.150	-1.410	330	-5.327	-1.832	1.663
20	-2.932	-1.627	-322	-2.699	-1.064	571	-5.063	-3.533	-2.003	-3.248	-1.508	232	-5.504	-2.009	1.486
TOT	-46.885	-20.785	5.315	-42.359	-9.659	23.041	-69.379	-38.779	-8.179	-51.699	-16.899	17.901	-86.399	-16.499	53.401
ROI	-2725%	-1208%	309%	-1964%	-448%	1068%	-3022%	-1689%	-356%	-1990%	-651%	689%	-1753%	-335%	1084%
IRR			42,41%			77,72%						57,45%			76,71%
BEP			3			2						2			2

Source: UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Tableau 50: Valeur actuelle nette du total des flux de trésorerie des différentes solutions de soutage du GNL de type TTS ; scénario base-haut (en milliers d'euros)

T	ISO-CONTAINER SUR CAMION			SOUTAGE A TRAVERS ATB			ISO-CONTAINER SUR SKID			CITERNE SUR SKID			ISO CONTAINER / CITERNE SUR MULTI-TRACK		
	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)
0	-1.721	-1.721	-1.721	-2.157	-2.157	-2.157	-2.296	-2.296	-2.296	-2.598	-2.598	-2.598	-4.928	-4.928	-4.928
1	-1.742	-508	725	-1.499	47	1.593	-1.824	-377	1.070	-1.859	-214	1.431	-3.017	287	3.592
2	-1.647	-481	686	-1.417	45	1.506	-1.815	-448	920	-1.757	-202	1.353	-2.853	272	3.396
3	-1.557	-454	648	-1.340	42	1.424	-1.802	-509	784	-1.661	-191	1.279	-2.697	257	3.210
4	-1.472	-430	613	-1.267	40	1.346	-1.786	-563	659	-1.571	-181	1.210	-2.550	243	3.035
5	-1.392	-406	580	-1.197	38	1.273	-1.765	-609	546	-1.485	-171	1.144	-2.411	229	2.870
6	-1.361	-429	503	-1.178	-10	1.157	-1.791	-698	394	-1.457	-214	1.028	-2.375	121	2.618
7	-1.330	-449	432	-1.158	-54	1.050	-1.810	-777	256	-1.429	-254	921	-2.337	23	2.383
8	-1.299	-466	367	-1.138	-94	950	-1.822	-846	131	-1.400	-289	822	-2.299	-67	2.164
9	-1.269	-481	306	-1.117	-130	857	-1.829	-905	18	-1.371	-321	729	-2.259	-149	1.960
10	-1.239	-494	251	-1.096	-163	770	-1.830	-957	-84	-1.342	-349	644	-2.218	-224	1.771
11	-1.209	-504	200	-1.074	-192	690	-1.826	-1.001	-175	-1.313	-374	565	-2.177	-291	1.594
12	-1.179	-513	153	-1.053	-219	615	-1.818	-1.038	-258	-1.284	-396	491	-2.135	-352	1.431
13	-1.149	-520	109	-1.031	-243	546	-1.807	-1.069	-331	-1.255	-416	423	-2.093	-407	1.279
14	-1.120	-525	70	-1.009	-264	482	-1.792	-1.094	-396	-1.226	-433	361	-2.050	-456	1.137
15	-1.092	-529	34	-987	-283	422	-1.774	-1.114	-454	-1.197	-447	303	-2.007	-500	1.006
16	-1.063	-531	0	-965	-299	367	-1.753	-1.129	-506	-1.169	-460	249	-1.964	-539	885
17	-1.035	-533	-30	-944	-314	316	-1.730	-1.140	-550	-1.141	-470	200	-1.921	-574	773
18	-1.008	-533	-57	-922	-326	269	-1.704	-1.147	-590	-1.113	-479	155	-1.878	-605	669
19	-981	-532	-82	-900	-337	226	-1.677	-1.150	-623	-1.085	-486	114	-1.835	-631	573
20	-955	-530	-105	-879	-346	186	-1.649	-1.151	-652	-1.058	-491	76	-1.792	-654	484
VAN	-26.821	-11.570	3.682	-24.328	-5.220	13.889	-37.900	-20.018	-2.137	-29.770	-9.434	10.902	-49.793	-8.947	31.900
ROI	-1559%	-672%	214%	-1128%	-242%	644%	-1651%	-872%	-93%	-1146%	-363%	420%	-1010%	-182%	647%
IRR			34,64%			68,03%			7,07%			48,86%			67,07%

Source: UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Tableau 51: Flux de trésorerie entrant et sortant des différentes solutions de soutage du GNL de type STS ; scénario base-haut (en milliers d'euros)

T	Navires bunker GNL très petits			Barge bunker de petite dimension				MV bunker small size				MV bunker mid size				MV bunker large size				
	Flux U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)	Flux U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)	Flux U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)	Flux U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)	Flussi U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)
0	2.102				12.250				21.188				35.337				86.056			
1	23.245	24.090	26.280	28.470	37.764	38.610	42.120	45.630	83.192	85.800	93.600	101.400	123.586	128.700	140.400	152.100	484.084	514.800	561.600	608.400
2	23.245	24.090	26.280	28.470	37.764	38.610	42.120	45.630	83.712	85.800	93.600	101.400	123.586	128.700	140.400	152.100	484.084	514.800	561.600	608.400
3	23.245	24.090	26.280	28.470	37.764	38.610	42.120	45.630	84.232	85.800	93.600	101.400	123.586	128.700	140.400	152.100	484.084	514.800	561.600	608.400
4	23.245	24.090	26.280	28.470	37.764	38.610	42.120	45.630	84.752	85.800	93.600	101.400	123.586	128.700	140.400	152.100	484.084	514.800	561.600	608.400
5	23.245	24.090	26.280	28.470	37.764	38.610	42.120	45.630	85.272	85.800	93.600	101.400	123.586	128.700	140.400	152.100	484.084	514.800	561.600	608.400
6	23.272	24.090	26.280	28.470	37.817	38.610	42.120	45.630	85.896	85.800	93.600	101.400	123.717	128.700	140.400	152.100	484.405	514.800	561.600	608.400
7	23.299	24.090	26.280	28.470	37.871	38.610	42.120	45.630	86.522	85.800	93.600	101.400	123.852	128.700	140.400	152.100	484.734	514.800	561.600	608.400
8	23.327	24.090	26.280	28.470	37.927	38.610	42.120	45.630	87.150	85.800	93.600	101.400	123.989	128.700	140.400	152.100	485.068	514.800	561.600	608.400
9	23.356	24.090	26.280	28.470	37.983	38.610	42.120	45.630	87.780	85.800	93.600	101.400	124.129	128.700	140.400	152.100	485.410	514.800	561.600	608.400
10	23.385	24.090	26.280	28.470	38.041	38.610	42.120	45.630	88.412	85.800	93.600	101.400	124.271	128.700	140.400	152.100	485.758	514.800	561.600	608.400
11	23.414	24.090	26.280	28.470	38.100	38.610	42.120	45.630	89.047	85.800	93.600	101.400	124.417	128.700	140.400	152.100	486.113	514.800	561.600	608.400
12	23.445	24.090	26.280	28.470	38.160	38.610	42.120	45.630	89.684	85.800	93.600	101.400	124.565	128.700	140.400	152.100	486.475	514.800	561.600	608.400
13	23.476	24.090	26.280	28.470	38.221	38.610	42.120	45.630	90.323	85.800	93.600	101.400	124.716	128.700	140.400	152.100	486.845	514.800	561.600	608.400
14	23.507	24.090	26.280	28.470	38.283	38.610	42.120	45.630	90.965	85.800	93.600	101.400	124.871	128.700	140.400	152.100	487.222	514.800	561.600	608.400
15	23.539	24.090	26.280	28.470	38.347	38.610	42.120	45.630	91.609	85.800	93.600	101.400	125.028	128.700	140.400	152.100	487.606	514.800	561.600	608.400
16	23.572	24.090	26.280	28.470	38.412	38.610	42.120	45.630	92.256	85.800	93.600	101.400	125.189	128.700	140.400	152.100	487.998	514.800	561.600	608.400
17	23.605	24.090	26.280	28.470	38.478	38.610	42.120	45.630	92.905	85.800	93.600	101.400	125.352	128.700	140.400	152.100	488.398	514.800	561.600	608.400
18	23.640	24.090	26.280	28.470	38.546	38.610	42.120	45.630	93.556	85.800	93.600	101.400	125.519	128.700	140.400	152.100	488.806	514.800	561.600	608.400
19	23.674	24.090	26.280	28.470	38.614	38.610	42.120	45.630	94.211	85.800	93.600	101.400	125.690	128.700	140.400	152.100	489.222	514.800	561.600	608.400
20	23.710	24.090	26.280	28.470	38.685	38.610	42.120	45.630	94.868	85.800	93.600	101.400	125.864	128.700	140.400	152.100	489.647	514.800	561.600	608.400
21	23.746	24.090	26.280	28.470	38.756	38.610	42.120	45.630	95.528	85.800	93.600	101.400	126.041	128.700	140.400	152.100	490.080	514.800	561.600	608.400
22	23.783	24.090	26.280	28.470	38.830	38.610	42.120	45.630	96.190	85.800	93.600	101.400	126.222	128.700	140.400	152.100	490.521	514.800	561.600	608.400
23	23.821	24.090	26.280	28.470	38.904	38.610	42.120	45.630	96.855	85.800	93.600	101.400	126.406	128.700	140.400	152.100	490.972	514.800	561.600	608.400
24	23.859	24.090	26.280	28.470	38.980	38.610	42.120	45.630	97.524	85.800	93.600	101.400	126.594	128.700	140.400	152.100	491.431	514.800	561.600	608.400
25	23.898	24.090	26.280	28.470	39.058	38.610	42.120	45.630	98.195	85.800	93.600	101.400	126.786	128.700	140.400	152.100	491.900	514.800	561.600	608.400
TOT	589.653	602.250	657.000	711.750	969.078	965.250	1.053.000	1.140.750	2.281.823	2.145.000	2.340.000	2.535.000	3.156.482	3.217.500	3.510.000	3.802.500	12.265.083	12.870.000	14.040.000	15.210.000

Source: UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Tableau 52: Total des flux de trésorerie, ROI, IRR et BEP des différentes solutions de soutage du GNL de type STS ; scénario base-haut (en milliers d'euros)

T	Navires bunker GNL très petits			Barge bunker de petite dimension			MV bunker small size			MV bunker mid size			MV bunker large size		
	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)
0	-2.102	-2.102	-2.102	-12.250	-12.250	-12.250	-21.188	-21.188	-21.188	-35.337	-35.337	-35.337	-86.056	-86.056	-86.056
1	845	3.035	5.225	847	4.357	7.867	2.608	10.408	18.208	5.114	16.814	28.514	30.716	77.516	124.316
2	845	3.035	5.225	847	4.357	7.867	2.088	9.888	17.688	5.114	16.814	28.514	30.716	77.516	124.316
3	845	3.035	5.225	847	4.357	7.867	1.568	9.368	17.168	5.114	16.814	28.514	30.716	77.516	124.316
4	845	3.035	5.225	847	4.357	7.867	1.048	8.848	16.648	5.114	16.814	28.514	30.716	77.516	124.316
5	845	3.035	5.225	847	4.357	7.867	528	8.328	16.128	5.114	16.814	28.514	30.716	77.516	124.316
6	818	3.008	5.198	793	4.303	7.813	-96	7.704	15.504	4.983	16.683	28.383	30.395	77.195	123.995
7	791	2.981	5.171	739	4.249	7.759	-722	7.078	14.878	4.848	16.548	28.248	30.066	76.866	123.666
8	763	2.953	5.143	683	4.193	7.703	-1.350	6.450	14.250	4.711	16.411	28.111	29.732	76.532	123.332
9	734	2.924	5.114	627	4.137	7.647	-1.980	5.820	13.620	4.571	16.271	27.971	29.390	76.190	122.990
10	705	2.895	5.085	569	4.079	7.589	-2.612	5.188	12.988	4.429	16.129	27.829	29.042	75.842	122.642
11	676	2.866	5.056	510	4.020	7.530	-3.247	4.553	12.353	4.283	15.983	27.683	28.687	75.487	122.287
12	645	2.835	5.025	450	3.960	7.470	-3.884	3.916	11.716	4.135	15.835	27.535	28.325	75.125	121.925
13	614	2.804	4.994	389	3.899	7.409	-4.523	3.277	11.077	3.984	15.684	27.384	27.955	74.755	121.555
14	583	2.773	4.963	327	3.837	7.347	-5.165	2.635	10.435	3.829	15.529	27.229	27.578	74.378	121.178
15	551	2.741	4.931	263	3.773	7.283	-5.809	1.991	9.791	3.672	15.372	27.072	27.194	73.994	120.794
16	518	2.708	4.898	198	3.708	7.218	-6.456	1.344	9.144	3.511	15.211	26.911	26.802	73.602	120.402
17	485	2.675	4.865	132	3.642	7.152	-7.105	695	8.495	3.348	15.048	26.748	26.402	73.202	120.002
18	450	2.640	4.830	64	3.574	7.084	-7.756	44	7.844	3.181	14.881	26.581	25.994	72.794	119.594
19	416	2.606	4.796	-4	3.506	7.016	-8.411	-611	7.189	3.010	14.710	26.410	25.578	72.378	119.178
20	380	2.570	4.760	-75	3.435	6.945	-9.068	-1.268	6.532	2.836	14.536	26.236	25.153	71.953	118.753
21	344	2.534	4.724	-146	3.364	6.874	-9.728	-1.928	5.872	2.659	14.359	26.059	24.720	71.520	118.320
22	307	2.497	4.687	-220	3.290	6.800	-10.390	-2.590	5.210	2.478	14.178	25.878	24.279	71.079	117.879
23	269	2.459	4.649	-294	3.216	6.726	-11.055	-3.255	4.545	2.294	13.994	25.694	23.828	70.628	117.428
24	231	2.421	4.611	-370	3.140	6.650	-11.724	-3.924	3.876	2.106	13.806	25.506	23.369	70.169	116.969
25	192	2.382	4.572	-448	3.062	6.572	-12.395	-4.595	3.205	1.914	13.614	25.314	22.900	69.700	116.500
TOT	12.597	67.347	122.097	-3.828	83.922	171.672	-136.823	58.177	253.177	61.018	353.518	646.018	604.917	1.774.917	2.944.917
ROI	599%	3204%	5809%	-31%	685%	1401%	-646%	275%	1195%	173%	1000%	1828%	703%	2063%	3422%
IRR	39,30%	144,37%	248,58%		35,16%	64,12%		43,16%	82,92%	12,21%	47,41%	80,65%	35,35%	90,04%	144,45%
BEP	3	2	1		3	2		3	2	7	3	2	3	2	1

Source: UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

Tableau 53: Valeur actuelle nette du total des flux de trésorerie des différentes solutions de soutage du GNL de type STS ; scénario base-haut (en milliers d'euros)

T	Navires bunker GNL très petits			Barge bunker de petite dimension			MV bunker small size			MV bunker mid size			MV bunker large size		
	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)
0	-2.102	-2.102	-2.102	-12.250	-12.250	-12.250	-21.188	-21.188	-21.188	-35.337	-35.337	-35.337	-86.056	-86.056	-86.056
1	799	2.870	4.940	800	4.119	7.437	2.466	9.840	17.215	4.835	15.897	26.959	29.041	73.288	117.535
2	756	2.713	4.671	757	3.894	7.032	1.866	8.839	15.811	4.571	15.030	25.488	27.456	69.290	111.123
3	714	2.565	4.416	715	3.682	6.648	1.325	7.917	14.509	4.322	14.210	24.098	25.959	65.510	105.061
4	675	2.425	4.175	676	3.481	6.285	837	7.070	13.302	4.086	13.435	22.783	24.542	61.936	99.329
5	639	2.293	3.947	639	3.291	5.942	399	6.291	12.183	3.863	12.702	21.540	23.204	58.557	93.911
6	584	2.149	3.713	567	3.073	5.580	-68	5.502	11.073	3.559	11.915	20.271	21.708	55.133	88.558
7	534	2.013	3.492	499	2.869	5.239	-487	4.780	10.046	3.274	11.174	19.074	20.302	51.904	83.505
8	487	1.885	3.283	436	2.677	4.918	-862	4.118	9.097	3.008	10.477	17.946	18.981	48.859	78.736
9	443	1.765	3.087	378	2.497	4.616	-1.195	3.513	8.221	2.759	9.821	16.883	17.740	45.987	74.235
10	402	1.652	2.902	325	2.328	4.331	-1.491	2.960	7.411	2.527	9.204	15.881	16.573	43.280	69.987
11	365	1.546	2.728	275	2.169	4.063	-1.752	2.456	6.665	2.311	8.623	14.936	15.477	40.727	65.977
12	329	1.446	2.563	230	2.020	3.811	-1.981	1.998	5.976	2.109	8.077	14.045	14.448	38.321	62.193
13	296	1.352	2.409	188	1.880	3.573	-2.181	1.580	5.342	1.921	7.564	13.206	13.482	36.052	58.622
14	266	1.264	2.263	149	1.749	3.350	-2.355	1.201	4.758	1.746	7.081	12.415	12.575	33.913	55.252
15	237	1.181	2.126	113	1.627	3.140	-2.504	858	4.221	1.583	6.627	11.670	11.723	31.898	52.072
16	211	1.104	1.996	81	1.511	2.942	-2.631	548	3.727	1.431	6.200	10.968	10.924	29.998	49.072
17	187	1.031	1.874	51	1.403	2.756	-2.738	268	3.274	1.290	5.798	10.307	10.174	28.207	46.241
18	164	962	1.760	23	1.302	2.581	-2.826	16	2.858	1.159	5.421	9.684	9.470	26.520	43.570
19	143	897	1.652	-2	1.207	2.416	-2.897	-210	2.476	1.037	5.067	9.097	8.810	24.930	41.050
20	124	837	1.550	-24	1.119	2.262	-2.953	-413	2.127	924	4.734	8.544	8.191	23.432	38.672
21	106	780	1.454	-45	1.036	2.116	-2.995	-593	1.808	819	4.421	8.023	7.611	22.020	36.429
22	89	727	1.364	-64	958	1.980	-3.024	-754	1.517	721	4.127	7.533	7.067	20.690	34.313
23	74	677	1.280	-81	885	1.851	-3.043	-896	1.251	631	3.851	7.071	6.558	19.438	32.317
24	60	630	1.200	-96	817	1.730	-3.050	-1.021	1.009	548	3.592	6.636	6.081	18.258	30.435
25	47	586	1.125	-110	753	1.617	-3.049	-1.130	788	471	3.349	6.227	5.634	17.146	28.659
<b>VAN</b>	<b>6.631</b>	<b>35.249</b>	<b>63.867</b>	<b>-5.768</b>	<b>40.099</b>	<b>85.966</b>	<b>-58.378</b>	<b>43.549</b>	<b>145.476</b>	<b>20.169</b>	<b>173.060</b>	<b>325.950</b>	<b>287.673</b>	<b>899.236</b>	<b>1.510.798</b>

Source: UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

Tableau 54: Flux de trésorerie entrant et sortant des différentes solutions de soutage du GNL de type PTS ; scénario base-haut (en milliers d'euros)

T	TERMINAL COSTIER DE GNL "SMALL BULLET CYLINDERS"				TERMINAL COSTIER DE GNL "MID-SIZE BULLET CYLINDERS"				TERMINAL COSTIER DE GNL "LONG-BULLET CYLINDERS"				TERMINAL COSTIER DE GNL "SECONDAIRE" À LA PRESSION ATMOSPHERIQUE				TERMINAL COSTIER DE GNL "PRIMAIRE" À LA PRESSION ATMOSPHERIQUE			
	Flux U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)	Flux U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)	Flux U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)	Flux U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)	Flux U	Flux E (MARK UP 10%)	Flux E (MARK UP 20%)	Flux E (MARK UP 30%)
0	11.143				84.910				155.590				109.308				171.920			
1	42.256	38.445	41.940	45.435	127.979	128.700	140.400	152.100	250.982	257.400	280.800	304.200	248.612	257.400	280.800	304.200	490.263	514.800	561.600	608.400
2	42.256	38.445	41.940	45.435	127.979	128.700	140.400	152.100	252.542	257.400	280.800	304.200	248.612	257.400	280.800	304.200	490.263	514.800	561.600	608.400
3	42.256	38.445	41.940	45.435	127.979	128.700	140.400	152.100	254.102	257.400	280.800	304.200	248.612	257.400	280.800	304.200	490.263	514.800	561.600	608.400
4	42.256	38.445	41.940	45.435	127.979	128.700	140.400	152.100	255.662	257.400	280.800	304.200	248.612	257.400	280.800	304.200	490.263	514.800	561.600	608.400
5	42.402	38.445	41.940	45.435	127.979	128.700	140.400	152.100	257.222	257.400	280.800	304.200	248.612	257.400	280.800	304.200	490.263	514.800	561.600	608.400
6	42.551	38.445	41.940	45.435	128.198	128.700	140.400	152.100	259.121	257.400	280.800	304.200	248.905	257.400	280.800	304.200	490.708	514.800	561.600	608.400
7	42.703	38.445	41.940	45.435	128.422	128.700	140.400	152.100	261.028	257.400	280.800	304.200	249.203	257.400	280.800	304.200	491.162	514.800	561.600	608.400
8	42.858	38.445	41.940	45.435	128.651	128.700	140.400	152.100	262.941	257.400	280.800	304.200	249.507	257.400	280.800	304.200	491.626	514.800	561.600	608.400
9	43.016	38.445	41.940	45.435	128.884	128.700	140.400	152.100	264.862	257.400	280.800	304.200	249.817	257.400	280.800	304.200	492.098	514.800	561.600	608.400
10	43.178	38.445	41.940	45.435	129.122	128.700	140.400	152.100	266.789	257.400	280.800	304.200	250.133	257.400	280.800	304.200	492.580	514.800	561.600	608.400
11	43.342	38.445	41.940	45.435	129.364	128.700	140.400	152.100	268.724	257.400	280.800	304.200	250.456	257.400	280.800	304.200	493.072	514.800	561.600	608.400
12	43.510	38.445	41.940	45.435	129.611	128.700	140.400	152.100	270.667	257.400	280.800	304.200	250.785	257.400	280.800	304.200	493.573	514.800	561.600	608.400
13	43.681	38.445	41.940	45.435	129.863	128.700	140.400	152.100	272.617	257.400	280.800	304.200	251.121	257.400	280.800	304.200	494.084	514.800	561.600	608.400
14	43.856	38.445	41.940	45.435	130.121	128.700	140.400	152.100	274.575	257.400	280.800	304.200	251.463	257.400	280.800	304.200	494.606	514.800	561.600	608.400
15	44.034	38.445	41.940	45.435	130.383	128.700	140.400	152.100	276.541	257.400	280.800	304.200	251.812	257.400	280.800	304.200	495.138	514.800	561.600	608.400
16	44.216	38.445	41.940	45.435	130.651	128.700	140.400	152.100	278.515	257.400	280.800	304.200	252.169	257.400	280.800	304.200	495.681	514.800	561.600	608.400
17	44.401	38.445	41.940	45.435	130.924	128.700	140.400	152.100	280.497	257.400	280.800	304.200	252.532	257.400	280.800	304.200	496.235	514.800	561.600	608.400
18	44.590	38.445	41.940	45.435	131.202	128.700	140.400	152.100	282.488	257.400	280.800	304.200	252.903	257.400	280.800	304.200	496.799	514.800	561.600	608.400
19	44.783	38.445	41.940	45.435	131.486	128.700	140.400	152.100	284.487	257.400	280.800	304.200	253.281	257.400	280.800	304.200	497.375	514.800	561.600	608.400
20	44.980	38.445	41.940	45.435	131.776	128.700	140.400	152.100	286.495	257.400	280.800	304.200	253.666	257.400	280.800	304.200	497.963	514.800	561.600	608.400
21	45.180	38.445	41.940	45.435	132.072	128.700	140.400	152.100	288.512	257.400	280.800	304.200	254.060	257.400	280.800	304.200	498.562	514.800	561.600	608.400
22	45.385	38.445	41.940	45.435	132.373	128.700	140.400	152.100	290.539	257.400	280.800	304.200	254.461	257.400	280.800	304.200	499.173	514.800	561.600	608.400
23	45.593	38.445	41.940	45.435	132.681	128.700	140.400	152.100	292.574	257.400	280.800	304.200	254.870	257.400	280.800	304.200	499.797	514.800	561.600	608.400
24	45.806	38.445	41.940	45.435	132.994	128.700	140.400	152.100	294.619	257.400	280.800	304.200	255.287	257.400	280.800	304.200	500.433	514.800	561.600	608.400
25	46.023	38.445	41.940	45.435	133.314	128.700	140.400	152.100	296.674	257.400	280.800	304.200	255.713	257.400	280.800	304.200	501.081	514.800	561.600	608.400
26	46.245	38.445	41.940	45.435	133.640	128.700	140.400	152.100	298.739	257.400	280.800	304.200	256.147	257.400	280.800	304.200	501.743	514.800	561.600	608.400
27	46.471	38.445	41.940	45.435	133.973	128.700	140.400	152.100	300.814	257.400	280.800	304.200	256.590	257.400	280.800	304.200	502.418	514.800	561.600	608.400
28	46.701	38.445	41.940	45.435	134.313	128.700	140.400	152.100	302.899	257.400	280.800	304.200	257.042	257.400	280.800	304.200	503.106	514.800	561.600	608.400
29	46.936	38.445	41.940	45.435	134.659	128.700	140.400	152.100	304.994	257.400	280.800	304.200	257.503	257.400	280.800	304.200	503.808	514.800	561.600	608.400
30	47.176	38.445	41.940	45.435	135.012	128.700	140.400	152.100	307.101	257.400	280.800	304.200	257.973	257.400	280.800	304.200	504.525	514.800	561.600	608.400
TOT	1.339.787	1.153.350	1.258.200	1.363.050	4.008.494	3.861.000	4.212.000	4.563.000	8.493.911	7.722.000	8.424.000	9.126.000	7.679.768	7.722.000	8.424.000	9.126.000	15.050.582	15.444.000	16.848.000	18.252.000

Source: UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Tableau 55: Total des flux de trésorerie, ROI, IRR et BEP des différentes solutions de soutage du GNL de type PTS ; scénario base-haut (en milliers d'euros)

T	TERMINAL COSTIER DE GNL "SMALL BULLET CYLINDERS"			TERMINAL COSTIER DE GNL "MID- SIZE BULLET CYLINDERS"			TERMINAL COSTIER DE GNL "LONG- BULLET CYLINDERS"			TERMINAL COSTIER DE GNL "SECONDAIRE" À LA PRESSION ATMOSPÉRIQUE			TERMINAL COSTIER DE GNL "PRIMAIRE" À LA PRESSION ATMOSPÉRIQUE		
	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)	Flux U/E (MARK UP 10%)	Flux U/E (MARK UP 20%)	Flux U/E (MARK UP 30%)
0	-11.143	-11.143	-11.143	-84.910	-84.910	-84.910	-155.590	-155.590	-155.590	-109.308	-109.308	-109.308	-171.920	-171.920	-171.920
1	-3.811	-316	3.179	721	12.421	24.121	6.418	29.818	53.218	8.788	32.188	55.588	24.537	71.337	118.137
2	-3.811	-316	3.179	721	12.421	24.121	4.858	28.258	51.658	8.788	32.188	55.588	24.537	71.337	118.137
3	-3.811	-316	3.179	721	12.421	24.121	3.298	26.698	50.098	8.788	32.188	55.588	24.537	71.337	118.137
4	-3.811	-316	3.179	721	12.421	24.121	1.738	25.138	48.538	8.788	32.188	55.588	24.537	71.337	118.137
5	-3.957	-462	3.033	721	12.421	24.121	178	23.578	46.978	8.788	32.188	55.588	24.537	71.337	118.137
6	-4.106	-611	2.884	502	12.202	23.902	-1.721	21.679	45.079	8.495	31.895	55.295	24.092	70.892	117.692
7	-4.258	-763	2.732	278	11.978	23.678	-3.628	19.772	43.172	8.197	31.597	54.997	23.638	70.438	117.238
8	-4.413	-918	2.577	49	11.749	23.449	-5.541	17.859	41.259	7.893	31.293	54.693	23.174	69.974	116.774
9	-4.571	-1.076	2.419	-184	11.516	23.216	-7.462	15.938	39.338	7.583	30.983	54.383	22.702	69.502	116.302
10	-4.733	-1.238	2.257	-422	11.278	22.978	-9.389	14.011	37.411	7.267	30.667	54.067	22.220	69.020	115.820
11	-4.897	-1.402	2.093	-664	11.036	22.736	-11.324	12.076	35.476	6.944	30.344	53.744	21.728	68.528	115.328
12	-5.065	-1.570	1.925	-911	10.789	22.489	-13.267	10.133	33.533	6.615	30.015	53.415	21.227	68.027	114.827
13	-5.236	-1.741	1.754	-1.163	10.537	22.237	-15.217	8.183	31.583	6.279	29.679	53.079	20.716	67.516	114.316
14	-5.411	-1.916	1.579	-1.421	10.279	21.979	-17.175	6.225	29.625	5.937	29.337	52.737	20.194	66.994	113.794
15	-5.589	-2.094	1.401	-1.683	10.017	21.717	-19.141	4.259	27.659	5.588	28.988	52.388	19.662	66.462	113.262
16	-5.771	-2.276	1.219	-1.951	9.749	21.449	-21.115	2.285	25.685	5.231	28.631	52.031	19.119	65.919	112.719
17	-5.956	-2.461	1.034	-2.224	9.476	21.176	-23.097	303	23.703	4.868	28.268	51.668	18.565	65.365	112.165
18	-6.145	-2.650	845	-2.502	9.198	20.898	-25.088	-1.688	21.712	4.497	27.897	51.297	18.001	64.801	111.601
19	-6.338	-2.843	652	-2.786	8.914	20.614	-27.087	-3.687	19.713	4.119	27.519	50.919	17.425	64.225	111.025
20	-6.535	-3.040	455	-3.076	8.624	20.324	-29.095	-5.695	17.705	3.734	27.134	50.534	16.837	63.637	110.437
21	-6.735	-3.240	255	-3.372	8.328	20.028	-31.112	-7.712	15.688	3.340	26.740	50.140	16.238	63.038	109.838
22	-6.940	-3.445	50	-3.673	8.027	19.727	-33.139	-9.739	13.661	2.939	26.339	49.739	15.627	62.427	109.227
23	-7.148	-3.653	-158	-3.981	7.719	19.419	-35.174	-11.774	11.626	2.530	25.930	49.330	15.003	61.803	108.603
24	-7.361	-3.866	-371	-4.294	7.406	19.106	-37.219	-13.819	9.581	2.113	25.513	48.913	14.367	61.167	107.967
25	-7.578	-4.083	-588	-4.614	7.086	18.786	-39.274	-15.874	7.526	1.687	25.087	48.487	13.719	60.519	107.319
26	-7.800	-4.305	-810	-4.940	6.760	18.460	-41.339	-17.939	5.461	1.253	24.653	48.053	13.057	59.857	106.657
27	-8.026	-4.531	-1.036	-5.273	6.427	18.127	-43.414	-20.014	3.386	810	24.210	47.610	12.382	59.182	105.982
28	-8.256	-4.761	-1.266	-5.613	6.087	17.787	-45.499	-22.099	1.301	358	23.758	47.158	11.694	58.494	105.294
29	-8.491	-4.996	-1.501	-5.959	5.741	17.441	-47.594	-24.194	-794	-103	23.297	46.697	10.992	57.792	104.592
30	-8.731	-5.236	-1.741	-6.312	5.388	17.088	-49.701	-26.301	-2.901	-573	22.827	46.227	10.275	57.075	103.875
TOT	-186.437	-81.587	23.263	-147.494	203.506	554.506	-771.911	-69.911	632.089	42.232	744.232	1.446.232	393.418	1.797.418	3.201.418
ROI	-1673%	-732%	209%	-174%	240%	653%	-496%	-45%	406%	39%	681%	1323%	229%	1045%	1862%
IRR			25,79%		13,17%	28,03%			30,68%	3,42%	29,08%	50,75%	12,74%	41,33%	68,67%
BEP			4		7	4			4		4	2	8	3	2

Source: UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

Tableau 56 : Valeur actuelle nette du total des flux de trésorerie des différentes solutions de soutage du GNL de type PTS ; scénario base-haut (en milliers d'euros)

T	TERMINAL COSTIER DE GNL "SMALL BULLET CYLINDERS"			TERMINAL COSTIER DE GNL "MID-SIZE BULLET CYLINDERS"			TERMINAL COSTIER DE GNL "LONG-BULLET CYLINDERS"			TERMINAL COSTIER DE GNL "SECONDAIRE" À LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE			TERMINAL COSTIER DE GNL "PRIMAIRE" À LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE		
	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)	VAN (MARK UP 10%)	VAN (MARK UP 20%)	VAN (MARK UP 30%)
0	-11.143	-11.143	-11.143	-84.910	-84.910	-84.910	-155.590	-155.590	-155.590	-109.308	-109.308	-109.308	-171.920	-171.920	-171.920
1	-3.603	-299	3.006	682	11.744	22.805	6.068	28.191	50.315	8.308	30.432	52.555	23.199	67.446	111.692
2	-3.407	-282	2.842	645	11.103	21.561	4.343	25.259	46.176	7.855	28.772	49.688	21.933	63.766	105.599
3	-3.221	-267	2.687	609	10.497	20.385	2.787	22.563	42.338	7.427	27.202	46.978	20.737	60.288	99.839
4	-3.045	-252	2.540	576	9.925	19.273	1.389	20.086	38.782	7.021	25.718	44.415	19.605	56.999	94.392
5	-2.989	-349	2.291	545	9.383	18.222	135	17.811	35.488	6.638	24.315	41.992	18.536	53.889	89.243
6	-2.933	-436	2.060	358	8.714	17.071	-1.230	15.483	32.195	6.067	22.780	39.492	17.207	50.632	84.057
7	-2.875	-515	1.845	187	8.088	15.988	-2.450	13.351	29.152	5.535	21.336	37.137	15.961	47.563	79.164
8	-2.817	-586	1.645	31	7.501	14.970	-3.538	11.401	26.340	5.039	19.978	34.917	14.795	44.672	74.550
9	-2.759	-650	1.460	-111	6.951	14.013	-4.504	9.620	23.744	4.577	18.701	32.825	13.703	41.950	70.198
10	-2.701	-706	1.288	-241	6.436	13.113	-5.358	7.995	21.349	4.147	17.500	30.854	12.680	39.387	66.093
11	-2.642	-757	1.129	-358	5.954	12.267	-6.110	6.515	19.140	3.747	16.371	28.996	11.723	36.973	62.223
12	-2.584	-801	982	-465	5.503	11.471	-6.767	5.169	17.105	3.374	15.310	27.247	10.828	34.700	58.573
13	-2.525	-840	846	-561	5.081	10.724	-7.339	3.946	15.231	3.028	14.313	25.598	9.990	32.560	55.131
14	-2.467	-874	720	-648	4.687	10.022	-7.831	2.838	13.508	2.707	13.376	24.046	9.208	30.546	51.885
15	-2.409	-903	604	-726	4.318	9.362	-8.251	1.836	11.923	2.409	12.496	22.583	8.476	28.651	48.825
16	-2.352	-928	497	-795	3.973	8.742	-8.606	931	10.468	2.132	11.669	21.206	7.792	26.866	45.941
17	-2.295	-948	398	-857	3.651	8.160	-8.900	117	9.134	1.876	10.893	19.909	7.154	25.187	43.221
18	-2.239	-965	308	-912	3.351	7.613	-9.140	-615	7.910	1.638	10.163	18.688	6.558	23.608	40.658
19	-2.183	-979	225	-960	3.070	7.100	-9.330	-1.270	6.790	1.419	9.479	17.539	6.002	22.121	38.241
20	-2.128	-990	148	-1.002	2.808	6.618	-9.475	-1.855	5.766	1.216	8.836	16.456	5.483	20.723	35.964
21	-2.074	-998	78	-1.038	2.564	6.166	-9.579	-2.375	4.830	1.028	8.233	15.437	4.999	19.408	33.817
22	-2.020	-1.003	15	-1.069	2.337	5.742	-9.646	-2.835	3.977	856	7.667	14.478	4.549	18.172	31.795
23	-1.967	-1.005	-44	-1.095	2.124	5.344	-9.680	-3.240	3.200	696	7.136	13.576	4.129	17.009	29.889
24	-1.915	-1.006	-97	-1.117	1.927	4.971	-9.684	-3.596	2.493	550	6.638	12.727	3.738	15.915	28.093
25	-1.864	-1.005	-145	-1.135	1.743	4.621	-9.661	-3.905	1.851	415	6.171	11.928	3.375	14.888	26.401
26	-1.814	-1.001	-188	-1.149	1.572	4.293	-9.615	-4.172	1.270	291	5.734	11.176	3.037	13.922	24.806
27	-1.765	-996	-228	-1.160	1.413	3.986	-9.546	-4.401	745	178	5.324	10.469	2.723	13.014	23.305
28	-1.716	-990	-263	-1.167	1.266	3.698	-9.459	-4.594	271	74	4.939	9.804	2.431	12.161	21.890
29	-1.669	-982	-295	-1.171	1.128	3.428	-9.355	-4.756	-156	-20	4.579	9.179	2.160	11.359	20.558
30	-1.623	-973	-324	-1.173	1.001	3.176	-9.236	-4.888	-539	-107	4.242	8.591	1.910	10.607	19.304
VAN	<b>-83.746</b>	<b>-34.430</b>	<b>14.886</b>	<b>-100.185</b>	<b>64.906</b>	<b>229.996</b>	<b>-335.158</b>	<b>-4.976</b>	<b>325.206</b>	<b>-19.185</b>	<b>310.997</b>	<b>641.179</b>	<b>122.699</b>	<b>783.062</b>	<b>1.443.426</b>

Source: UNIGE-CIELI et Enterprise Shipping Agency Srl/UNICA-CIREM.

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## 7.6. Mécanismes incitatifs pour les investissements dans les technologies "green"

Enfin, après avoir mis en évidence les options technologiques de soutage du GNL pour lesquelles les investissements ne sont pas rentables pour les différents niveaux de prix finaux supposés, un certain nombre de mécanismes d'incitation aux investissements dans les technologies de type "green" ont été signalés qui permettent de réduire les coûts d'exploitation et d'investissement des solutions analysées ou en tout cas d'accroître l'attractivité de l'investissement du point de vue des investisseurs privés potentiels concernés,

Parmi les options incitatives, puisqu'il s'agit d'investissements "green", le produit T.2.3.1 envisage certaines options théoriquement réalisables, telles que :

- ✓ Mise en œuvre de PPP (partenariats public-privé), de subventions non remboursables et de prêts à faible taux d'intérêt.
- ✓ Certificats "green" et incitations fiscales (taxes portuaires différenciées).
- ✓ Subventions de fonctionnement pour les investissements dans les technologies "green".

Parmi les divers instruments financiers et économiques mis en place dans le secteur maritime pour encourager l'utilisation de combustibles "green" et la construction de nouvelles infrastructures "green", développés à ce jour principalement en Europe du Nord, les suivants sont décrits à titre d'exemple :

- ✓ Redevances de " fairway " selon le modèle suédois (redevances différentielles dans le port).
- ✓ Le fonds NOX norvégien.
- ✓ Des accords volontaires tels que le "Green Award Certificate" et le système ESI (Environmental Ship Index).
- ✓ Programme CEF (connecting europe facility)

Ces exemples d'incitations sont principalement orientés vers les chiffres qui gèrent et possèdent des navires alimentés au GNL et non vers les chiffres qui investissent dans les infrastructures GNL. Néanmoins, ils représentent des modèles qui pourraient être raisonnablement reproduits et appliqués également pour ceux qui construisent et exploitent des infrastructures de soutage de GNL.

## **8. FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.3.2 "OUTILS DE GESTION POUR L'ÉVALUATION DES INVESTISSEMENTS DANS LES INSTALLATIONS D'APPROVISIONNEMENT ET DE STOCKAGE DE GNL DANS LES PORTS"**

### **8.1. Objectif du produit T2.3.2**

Sur la base des analyses effectuées dans le rapport T2.1.2 finalisé à la cartographie de la demande de GNL dans la zone du programme et notamment sur la base des résultats qui ont émergé en référence à l'estimation des besoins énergétiques attribuables aux zones portuaires étudiées, le partenariat a réalisé des premières études visant à identifier les utilisations synergiques possibles du GNL pour satisfaire les besoins énergétiques supplémentaires (par rapport aux services de soutage) qui caractérisent les nœuds portuaires cibles. En particulier, selon les études menées, il est possible de prévoir, dans le contexte actuel et prospectif, comment l'utilisation du GNL implique et conduira de plus en plus à l'émergence de synergies avec les activités nombreuses et hétérogènes exercées dans le cadre portuaire.

Dans le cadre du Produit T2.3.2, par conséquent, l'accent est mis sur les possibilités offertes par les centrales de cogénération et de trigénération, qui permettent la production à haut rendement d'électricité et de chaleur. Ces installations, en effet, où la disponibilité des deux types d'énergie est nécessaire, permettent d'obtenir un rendement global (Combined Heat and Power efficiency) nettement supérieur à celui résultant de l'utilisation de l'électricité du réseau et de la chaleur produite à partir de processus de combustion.

Le produit T2.3.2 s'organise donc en présentant d'abord les principales caractéristiques de ces types de systèmes, en mettant en évidence leurs avantages et en définissant les conditions de fonctionnement dans lesquelles il est avantageux d'adopter de telles solutions. Suit ensuite une analyse de l'état de l'art sur les cycles de cogénération et de trigénération, illustrant quelques exemples d'applications et mettant en évidence les avantages associés à la réduction de l'impact environnemental. Les résultats des activités précédentes sont ensuite résumés concernant l'analyse des besoins énergétiques portuaires afin de présenter quelques exemples d'application de centrales de cogénération et de trigénération pour certains ports de la zone du programme.

Les sections suivantes fournissent une synthèse des contenus du produit en question fonctionnels à l'établissement d'une richesse commune de connaissances avec différents niveaux de détail technique en faveur des différents groupes cibles, se référant à la version intégrale du produit concerné, pour une analyse plus complète et exhaustive des contenus techniques du projet.

### **8.2. Analyse de l'état de l'art sur les cycles cogeneratifs et trigeneratifs**

Les besoins électriques et thermiques d'un ou plusieurs sites (bâtiments, unités industrielles, etc.) sont normalement couverts par l'achat d'électricité sur le réseau électrique local et la production de chaleur utile par combustion dans une chaudière située à proximité du site d'utilisation. Cependant, la production d'électricité dans une centrale électrique s'accompagne d'une production de chaleur, ce qui entraîne un énorme gaspillage d'énergie si la chaleur est libérée dans l'environnement par les gaz d'échappement et les circuits de refroidissement de la centrale. La majeure partie de cette chaleur peut être récupérée et utilisée pour couvrir les charges thermiques, convertissant ainsi la centrale électrique en un système de cogénération, ce qui augmente l'efficacité d'utilisation du carburant de 40% -50% à 80% -90%. La cogénération peut être définie comme la génération simultanée de travail et de chaleur utile à partir de la même source d'énergie primaire. Par travail, on entend l'énergie mécanique ou électrique. L'énergie mécanique, par exemple produite par une turbine ou un moteur à combustion interne, peut actionner un générateur de production d'électricité ou d'autres équipements tels qu'un



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



compresseur et une pompe. Il est également possible d'avoir la conversion directe de l'énergie stockée chimiquement dans le combustible en électricité par, par exemple, des piles à combustible. L'énergie thermique récupérée peut être utilisée pour le chauffage et/ou le refroidissement au moyen d'équipements supplémentaires tels que des chillers à absorption. L'utilisation de l'énergie thermique pour le dessalement par distillateurs est également une application d'un intérêt croissant. Ainsi, bien que des termes tels que trigénération et polygénération semblent décrire des systèmes avec trois produits utiles ou plus, ces produits sont obtenus avec un équipement supplémentaire, tandis que le système central reste le système de cogénération tel que défini ci-dessus.

La croissance substantielle du niveau de richesse dans le monde depuis le début du XXe siècle repose principalement sur l'utilisation de l'énergie. Les combustibles fossiles alimentent les machines et les processus qui permettent une formidable croissance de la productivité et l'approvisionnement en consommables. Sur la base de ces avantages, la consommation d'énergie a augmenté à un rythme remarquablement élevé, comme si les ressources disponibles étaient illimitées. Cependant, les craintes d'épuisement des ressources à faible coût, associées à une anxiété croissante d'un réchauffement climatique excessif, ont conduit à soutenir la cogénération de chaleur et d'électricité ainsi qu'à une augmentation drastique des énergies renouvelables.

### **8.2.1. Technologies de cogénération**

Le principe de base de la cogénération est basé sur le concept selon lequel la majeure partie de la chaleur dégagée lors d'un processus de conversion de l'énergie du combustible en énergie mécanique ou électrique n'est pas gaspillée mais utilisée de manière pratique. Le composant qui convertit le carburant en énergie mécanique et en chaleur est souvent appelé moteur premier. Les principaux moteurs communs sont les turbines à gaz, les moteurs à pistons et, plus récemment, les piles à combustible. L'énergie mécanique peut être convertie en énergie électrique avec un générateur électrique, tandis que la chaleur peut être convertie en froid avec un refroidisseur à absorption (*chiller*). Les échangeurs de chaleur font partie intégrante des centrales de cogénération. Les pompes à chaleur sont également de plus en plus utilisées dans ces installations. Les aspects de performance des technologies de cogénération doivent être évalués par rapport à l'application prévue. Jusqu'à récemment, la valeur de marché de l'électricité était toujours beaucoup plus élevée que celle d'une même quantité d'énergie thermique. La raison était triple:

- i. l'électricité est beaucoup plus polyvalente que la chaleur
- ii. les installations pour produire électricité à partir de combustible sont beaucoup plus chères qu'une chaudière à combustible
- iii. le rendement de conversion du combustible en chaleur d'une chaudière est supérieur à celui d'une centrale électrique.

De nos jours, dans les zones où une grande quantité d'électricité est produite avec des éoliennes et des panneaux solaires, la valeur de marché de gros de l'électricité peut être très faible, voire négative, en période de vent fort et d'intensité solaire élevée.

Une forte incertitude sur les prix de l'électricité signifie que les futures technologies de cogénération doivent être de plus en plus flexibles, avec un taux de réduction élevé de la puissance fournie et des démarrages et arrêts souvent fréquents.

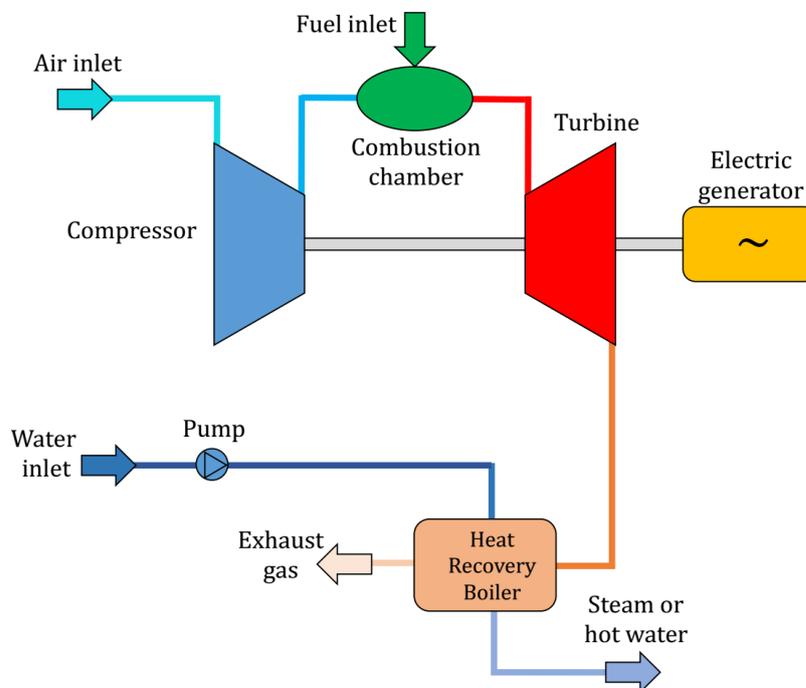
#### **8.2.1.1. Systèmes de cogénération à turbine à gaz**

Une turbine à gaz peut fonctionner avec des carburants liquides ainsi que gazeux. La différence entre une turbine à gaz et une turbine à vapeur est que dans la turbine à gaz, la combustion a lieu en tant que partie intégrante de la machine, tandis que dans les systèmes à vapeur, la vapeur utilisée à l'intérieur de

TDI RETE-GNL

la turbine est toujours produite à l'extérieur de la turbine elle-même. Une turbine à gaz est constituée d'un compresseur qui augmente sensiblement la pression de l'air d'admission, avant que l'air ne soit chauffé par la combustion d'un carburant tel que des dérivés du pétrole ou du gaz naturel. Ce compresseur peut être radial (généralement pour les systèmes de petite taille) ou axial (pour les systèmes de grande taille). La combustion du carburant provoque l'échauffement du fluide de travail. Cela amène la turbine à avoir une puissance suffisante (et supérieure) pour entraîner le compresseur d'air, tandis que la puissance excédentaire peut être mise à disposition de l'arbre pour entraîner, par exemple, un générateur ou une pompe (généralement un utilisateur). Par conséquent, il existe trois processus de base dans une turbine à gaz standard: la compression, la combustion et la détente. La Figure 42 présente la configuration d'une turbine à gaz telle qu'elle est couramment utilisée dans une application de cogénération. Le processus thermodynamique idéalisé est appelé cycle Joule ou cycle de Brayton.

Figure 42. Schéma d'une installation avec une turbine à gaz en cogénération.



Source: nt. traitement.

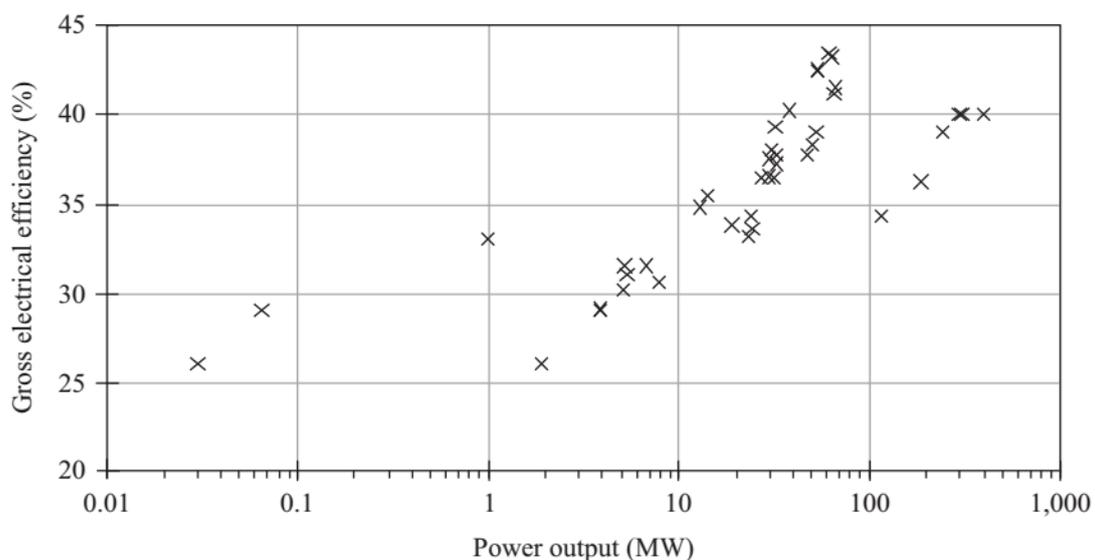
La Figure 43 montre que le rendement brut des plus grandes turbines à gaz est généralement supérieur à celui des plus petites machines.

Dans nombreuses applications de cogénération telles que le chauffage urbain, l'utilisation dans les bâtiments commerciaux et dans les installations de traitement chimique, il peut être nécessaire de contrôler la puissance thermique ou la puissance électrique, voire les deux. Cela signifie que la turbine à gaz d'entraînement ne peut pas toujours fonctionner à pleine puissance ou qu'une combustion supplémentaire doit être utilisée pour produire plus de chaleur. La combustion supplémentaire consiste à installer un brûleur en amont de la chaudière de récupération de chaleur. Cependant, la diminution de la puissance d'un moteur principal, comme une turbine à gaz dans une centrale de cogénération, se traduit par une efficacité électrique inférieure. Une petite turbine à gaz, avec une configuration simple, n'a pas de soupapes de *blow-off* qui permettent de décharger une partie de l'air comprimé à des charges

plus faibles et n'a pas d'IGV à l'entrée du compresseur qui peut réguler le débit d'admission d'air. Lorsque la puissance d'une turbine à gaz est réduite, en maintenant la vitesse de fonctionnement constante, de nombreuses pertes telles que celles dues au reflux, au frottement d'écoulement et au frottement mécanique restent les mêmes dans un sens absolu. Cela signifie que ces pertes ont un effet décroissant relativement plus élevé sur le rendement lorsque la puissance de la turbine diminue. Dans de nombreuses applications de cogénération, ce n'est pas la puissance électrique qui doit être variée, mais la puissance thermique. La chaleur produite par de nombreuses applications de cogénération à turbine à gaz est utilisée pour la production de vapeur. La vapeur est un vecteur d'énergie polyvalent dans les installations de traitement chimique. La chaleur dégagée par une turbine à gaz est presque entièrement disponible dans les gaz d'échappement et se caractérise par des valeurs de température autour de 500 C dans la plupart des cas, très adaptées à la production de vapeur. Si une combustion supplémentaire n'est pas disponible, la production de vapeur peut être modifiée en faisant varier la puissance fournie par la turbine à gaz.

Cependant, la chaleur dégagée dans l'échappement de la turbine ne diminue pas linéairement avec la puissance délivrée. Cela parce que le rendement de la turbine diminue avec la puissance délivrée et, par conséquent, la fraction de chaleur augmente avec la diminution de la puissance délivrée.

Figure 43. Exemples de valeur de rendement brute des turbines à gaz en fonction de la taille



Source: Frangopoulos, Cogeneration: technologies, optimisation and implementation, 2017.

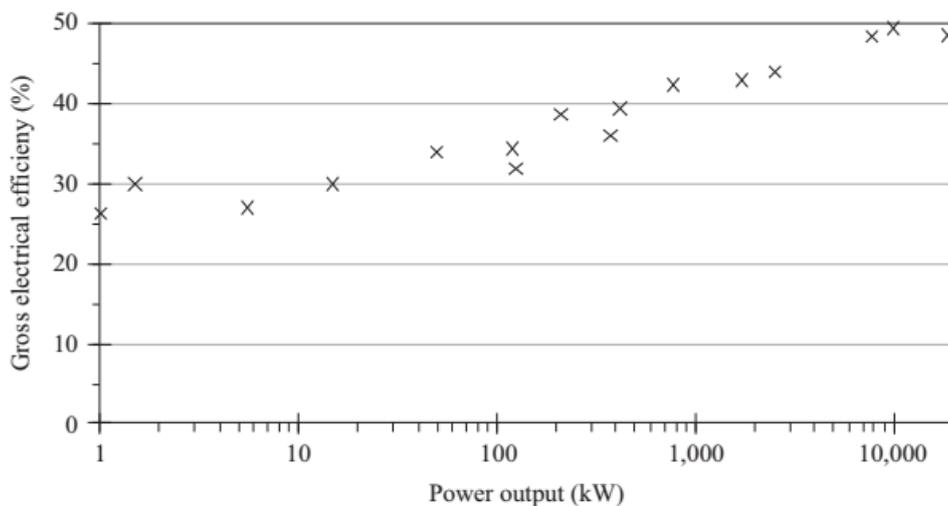
### 8.2.1.2. Systèmes de cogénération alternatifs basés sur des moteurs à combustion interne

Après la Seconde guerre mondiale, les moteurs à gaz alternatifs stationnaires étaient presque exclusivement utilisés dans les installations d'épuration et dans les décharges de gaz, et pour entraîner les compresseurs de gaz dans les systèmes de transport par pipeline. Un grand changement s'est produit à la fin des années 1970 après la crise pétrolière, lorsque ces moteurs ont commencé à être utilisés dans les petites centrales de cogénération.

Pendant le fonctionnement d'un moteur à combustion interne, une partie de la chaleur dégagée pendant le processus de combustion est transférée aux parois du cylindre relativement froides et, par conséquent, moins de chaleur est disponible pour produire du travail. De plus, le travail effectué dans les cylindres du moteur sur les pistons n'est pas complètement transféré au vilebrequin qui entraîne le générateur. Le

frottement entre les pistons et les cylindres et dans les roulements, ainsi que les pertes parasites liées à l'entraînement par arbre à cames et aux pompes à huile et à eau consomment une partie de l'énergie. Comme pour tous les moteurs principaux, l'impact des pertes sur le rendement peut être réduit en augmentant la puissance de la machine (effet d'échelle). Les turbocompresseurs augmentent la pression d'admission des moteurs et, grâce à cela, une plus grande quantité de mélange de carburant peut être introduite dans un cylindre d'un alésage et d'une course donnés.

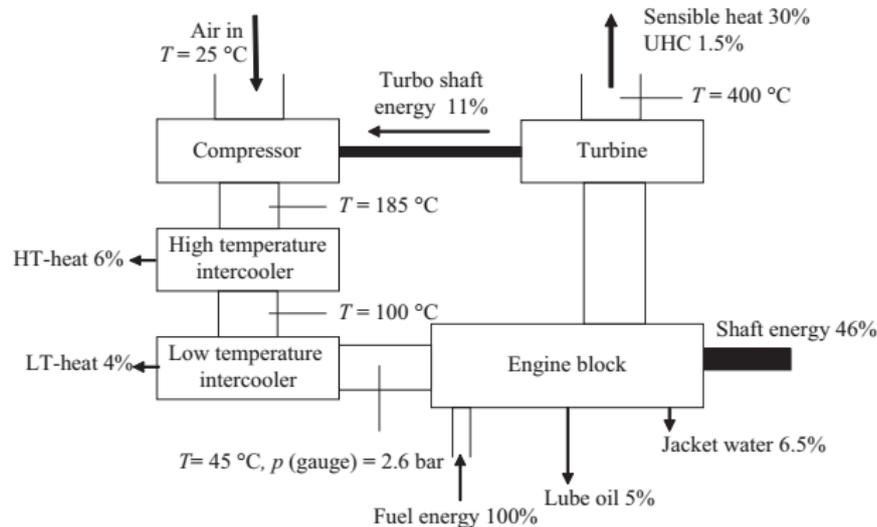
Figure 44. Rendement électrique brut d'un système de cogénération basé sur des moteurs à combustion interne



Source: Frangopoulos, Cogeneration : technologies, optimisation and implementation, 2017

Le bilan énergétique d'une centrale de cogénération entraînée par un moteur alternatif est plus compliqué que celui d'une turbine à gaz. Pour un moteur à combustion interne, il peut y avoir jusqu'à six sources de chaleur distinctes, tandis que pour la turbine à gaz, seule la chaleur des gaz d'échappement est importante. La Figure 45 montre les sources de chaleur en cas de suralimentation en un seul étage pour moteur tournant à charge nominale.

Figure 45. Bilan énergétique d'un moteur à combustion interne suralimenté à charge nominale



Source: Frangopoulos, Cogeneration : technologies, optimisation and implementation, 2017

L'apport de carburant est basé sur le pouvoir calorifique inférieure du carburant lui-même et les valeurs indiquées se réfèrent à la charge nominale du moteur. Toutes les fractions d'énergie sont fournies comme pourcentage de l'énergie injectée avec le carburant. Contrairement aux petits moteurs à aspiration naturelle, la chaleur disponible du bloc moteur via l'eau de chemise n'est ici que de 6,5%. La température de l'eau de la chemise est normalement d'environ 85 ° C, mais des valeurs jusqu'à 110 ° C sont également possibles. L'huile de graissage est également utilisée pour refroidir les têtes de piston et reçoit une partie de la chaleur du bloc moteur et des frottements dans les roulements. La chaleur de l'huile lubrifiante est souvent disponible à un niveau de température compris entre 40 et 50 ° C et dans cet exemple comprend 5% de l'énergie du carburant. La chaleur sensible des gaz d'échappement en aval de la turbine du turbocompresseur a un niveau de température de 400 ° C et représente environ 30% de l'énergie du carburant. Ce niveau de température convient à la production de vapeur. La turbine transfère 11% de l'énergie du carburant au compresseur via un arbre. Cela représente environ un quart de l'énergie disponible pour l'arbre du moteur. Dans cet exemple, le compresseur fait passer l'air d'admission d'une pression ambiante absolue de 1 bar à une pression absolue légèrement supérieure à 3,6 bar.

L'*intercooler* a été divisé en deux sections car l'utilité de la chaleur à un niveau de température proche de 100 ° C est généralement supérieure à celle de la chaleur à une température inférieure à 50 ° C. Le bilan énergétique dans cet exemple est complété par 1,5% d'hydrocarbures imbrûlés et 1% de perte de chaleur du bloc moteur vers l'environnement environnant. La perte de chaleur du bloc moteur est souvent appelée perte de rayonnement, mais en pratique, il s'agit principalement de la convection du bloc moteur vers l'air ambiant. Enfin, trois niveaux de chaleur sont disponibles. La chaleur de l'*intercooler* à basse température (LT) combinée à celle du refroidisseur d'huile de lubrification représente 9% de l'énergie du carburant à un niveau de température d'environ 50 ° C. La combinaison de la chaleur de l'*intercooler* à haute température (HT) et de la chaleur de l'eau de chemise représente 12,5% de l'énergie du combustible à environ 85 ° C. L'efficacité maximale de la cogénération dépend du niveau de température auquel les gaz d'échappement seront refroidis, à partir de 400 ° C, avant de sortir par la cheminée. Si la température de sortie était de 100 ° C, un quart de la chaleur sensible en aval de la turbine sera dispersé dans l'environnement. L'électricité représentera près de 45% de l'énergie



**Interreg**



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



du combustible. Si la chaleur disponible à 50 ° C et 85 ° C est également utilisée, le rendement combiné de la cogénération sera de  $9+12,5+22,5+45=89\%$ .

La variation de la puissance calorifique d'un moteur alternatif avec la puissance d'arbre est plus compliquée à déterminer que celle d'une turbine à gaz en raison des nombreuses sources de chaleur utilisées. Les centrales de cogénération entraînées par un moteur alternatif ne fonctionnent normalement pas à des charges inférieures à 40% pour des raisons économiques. L'efficacité du carburant commence à devenir moins intéressante avec des charges aussi faibles, tandis que les coûts d'entretien par heure de fonctionnement sont à peu près les mêmes que la charge nominale. La perte de chaleur absolue du bloc moteur vers son environnement reste approximativement constante sur toute la plage de charge car la température du liquide de refroidissement est maintenue thermo statiquement à une valeur constante. Lorsque le moteur tourne à 30% de charge, la puissance transférée par le turbocompresseur de l'échappement vers le côté admission devient très faible, ce qui signifie que les *intercooler* ne refroidissent plus l'air en aval du compresseur. Si l'*intercooler* HT est intégré dans le système de refroidissement par eau de chemise, la chaleur sera transférée à l'air d'admission plutôt que supprimée. L'*intercooler* LT doit évacuer cette chaleur et la transférer vers le circuit de chauffage basse température.



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



### 8.2.2. *Bénéfices résultant de l'utilisation de la cogénération*

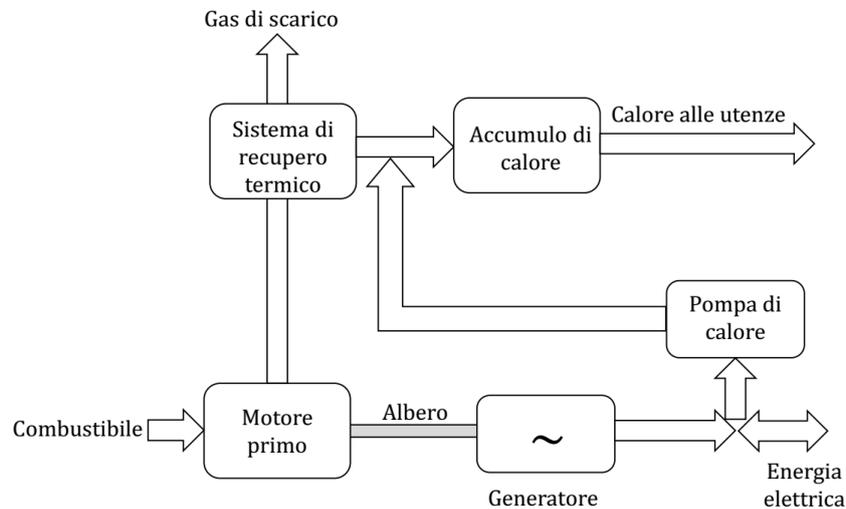
Sur la base de ce qui est illustré dans le Produit T.2.3.2, il ressort donc que la cogénération d'électricité et de chaleur est potentiellement une excellente solution pour économiser du carburant dans certaines conditions de contexte. Les centrales électriques les plus avancées dotées de turbines à gaz à cycle combiné ont un rendement de conversion combustible-électricité de 61%. Cela n'inclut pas les pertes de transport et de distribution, qui représentent en moyenne 8% de l'électricité produite. L'efficacité énergétique moyenne de la fourniture d'électricité aux utilisateurs finaux est proche de 35% dans le monde. En supposant par exemple que les 18 PWh de l'électricité fournie en 2013 soient produits avec des combustibles fossiles, cela nécessitait probablement  $18 \times 3,6 / 0,35 = 185$  EJ de combustible fossile. Si toute l'électricité avait été produite par cogénération avec un rendement combiné de 85%, 90 EJ de chaleur auraient été récupérés de la production d'électricité et utilisés. Il s'agit d'une fraction substantielle des quelque 130 EJ de fourniture de chaleur provenant des combustibles fossiles. Sur une production d'électricité estimée à 10% par cogénération, y compris le chauffage urbain, une valeur réaliste pour l'année 2013 d'économies d'énergie est d'environ 10 EJ. Cela équivaut à environ 2% de l'utilisation mondiale de combustibles fossiles en 2013. La fraction de réduction de CO<sub>2</sub> peut être estimée dans le même pourcentage.

Une application plus diffusée de la cogénération peut en fait contribuer à réduire la consommation de carburant et les émissions de gaz à effet de serre. Si 50% de la demande d'électricité était couverte par la cogénération, des économies d'énergie de 50 EJ seraient possibles. Les coûts d'investissement ne peuvent pas être un obstacle, car le prix en kW des centrales de cogénération se situe dans la même fourchette que celui des grandes centrales au gaz.

Un autre avantage offert par les systèmes de cogénération réside dans leur intégration facile avec les énergies renouvelables. Pour atteindre les objectifs d'une société à très faibles émissions de gaz à effet de serre, il n'y a pas d'autre choix que de mettre en place un système qui utilise principalement l'électricité comme vecteur d'énergie. Cependant, l'électricité devra principalement provenir du rayonnement solaire, du vent, de la biomasse et de l'utilisation des déchets, des centrales nucléaires et pourrait provenir de centrales à combustibles fossiles qui utilisent le captage et le stockage du dioxyde de carbone.

Les centrales de cogénération feront partie intégrante du système d'approvisionnement en énergie des zones urbaines et des sites industriels, offrant une efficacité énergétique, une fiabilité et une flexibilité élevées. En effet, il sera impossible de s'appuyer uniquement sur l'énergie solaire et éolienne et d'autres options telles que l'énergie houlomotrice et la géothermie d'ici 2050. C'est avant tout le caractère aléatoire de l'énergie solaire et éolienne qui nécessite une sauvegarde flexible et rapide. Les centrales de cogénération modernes basées sur des turbines à gaz ou des moteurs à pistons peuvent démarrer et s'arrêter rapidement et fréquemment. Leur réponse à la demande d'un changement brutal de production est également bien supérieure à celle d'une centrale à vapeur traditionnelle. En cas de manque de soleil et de vent, ces unités peuvent produire la chaleur et l'électricité nécessaires. La Figure 46 représente schématiquement un système de ce type.

Figure 46 - Schéma d'une centrale de cogénération intégrée avec pompes à chaleur et stockage de chaleur



Source: nt. traitement.

### 8.3. Aspects thermodynamiques et réduction de l'impact environnemental des centrales cogénératives

Le produit T.2.3.2 examine également les outils pour l'évaluation des performances des systèmes de cogénération et de trigénération du point de vue des produits énergétiques utiles, de la consommation d'énergie primaire et des économies d'énergie primaire.

La définition correcte et le calcul de l'efficacité et des économies d'énergie primaire sont importants non seulement pour avoir une idée claire de ce que la cogénération peut réaliser, mais aussi pour révéler si un système particulier est éligible aux incitations économiques prévues dans différents pays pour la promotion de la cogénération, comme les subventions d'investissement, les garanties d'origine et le tarif spécial pour l'électricité issue de la cogénération à haut rendement (CAR). Un système de cogénération peut fonctionner sous différentes charges et conditions externes. Par conséquent, une analyse uniquement sur le point de conception nominal peut conduire à une surestimation de ses performances thermodynamiques. Si ces résultats sont ensuite utilisés pour évaluer sa performance économique, ils peuvent donner une fausse image de la viabilité économique de l'investissement.

Une multitude d'indices (ou de chiffres de mérite) pour l'évaluation des performances thermodynamiques des systèmes de cogénération sont apparus dans la littérature. En cela, les plus importants qui ont des bases thermodynamiques solides sont considérés et définis. En particulier, dans le document intégral, les bilans thermodynamiques des systèmes de cogénération sont largement traités. Plus précisément, en plus du bilan énergétique classique réalisé sur le système, le bilan basé sur l'énergie est également considéré, ou, en termes simples, sur une quantité capable de quantifier la capacité d'un système à fournir un effet utile. Ces bilans permettent de définir des rendements et des coefficients appropriés indicatifs de la capacité d'un système, dans le cas considéré de cogénération ou de trigénération, à convertir efficacement l'énergie primaire en produits "utiles", c'est-à-dire travail et chaleur. Le rapport électricité/chaleur et les économies d'énergie primaire sont également définis, les deux capables de caractériser la qualité du système de cogénération par rapport à un système traditionnel.



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



#### 8.4. Évaluation économique et financière des coûts liés aux technologies de cogénération

Les systèmes de cogénération ou de trigénération sont des installations à forte intensité de capital, en raison du contenu technologique élevé qui les caractérise et de la taille dimensionnelle des tailles minimales des installations. Même si un système de cogénération ou tri-génération a un rendement énergétique élevé, il n'est pas possible de procéder à l'investissement à moins qu'il ne soit également économiquement durable.

Ce chapitre fournit des informations sur les méthodologies pour réaliser une évaluation économique et financière préliminaire de ce type d'installation, en examinant les différentes catégories de coûts qui découlent de l'achat et de la gestion de l'actif et les paramètres et les KPI d'un économique et financier qui sont plus répandus parmi les praticiens aux fins en question.

Les valeurs de coût rapportées sont les plus significatives possibles mais néanmoins, elles ne peuvent être considérées qu'à titre indicatif, car elles changent considérablement en raison de profils tels que le fabricant du système en question, la taille du système, le lieu d'installation du système, etc.

En outre, les coûts des technologies de cogénération et de trigénération sont influencés par plusieurs facteurs, tels que les accords spéciaux et éventuellement les remises offertes par les fabricants, les réglementations sur les émissions dans la zone d'installation spécifique, la disponibilité de la main-d'œuvre locale et les tarifs, les besoins en infrastructures (c.-à-d. système doit être situé sur un terrain nu ou sur un site avec routes existantes et réseaux électriques, eau, carburant), type d'installation et autres. Nous entendons donc ici ne fournir qu'un cadre de référence conceptuel à un niveau théorique qui ne peut évidemment pas être exhaustif, puisque l'évaluation de la performance économique d'une installation de co- ou trigénération spécifique doit être réalisée en détail sur la en fonction des spécificités de l'initiative du projet en cours d'évaluation.

Il convient également de noter qu'une éventuelle classification des éléments de coût qui caractérisent la structure de coût des centrales de cogénération sera présentée ci-dessous. Cela peut être facilement adapté au contexte des usines de trigénération (compte tenu des éléments de coût relatifs aux équipements tels que les refroidisseurs à absorption pour la production de froid) tandis que pour les estimations approximatives des coûts relatifs, ils se réfèrent aux installations de cogénération.

Les coûts des technologies de co- ou de trigénération peuvent être divisés, comme c'est le cas pour tout type d'investissement en actifs:

- ✓ **Dépenses en capital (investissements) ou dépenses en capital (CAPEX)**
- ✓ **Frais d'exploitation ou dépenses d'exploitation (OPEX)**

Dans la première macro-catégorie de coûts (CAPEX), il convient d'identifier au moins 3 éléments de coût principaux:

1. **Coûts d'équipement**
2. **Coûts d'installation**
3. **Coûts de conception**

Les **coûts de l'équipement** comprennent toutes les dépenses liées à l'achat de l'équipement et au transport de celui-ci jusqu'au site d'installation du système. Au sein de cette macro-catégorie, il est alors possible d'identifier au moins 8 éléments de coût principaux:

- a. Coût du moteur principal et du groupe électrogène
- b. Coût de l'équipement de récupération de chaleur et de la tuyauterie connexe
- c. Coûts du système d'échappement des gaz
- d. Coûts de l'équipement d'alimentation en carburant

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

- e. Coûts du système de ventilation et de l'alimentation en air de combustion
- f. Coûts du panneau de contrôle
- g. Coûts d'interconnexion avec le réseau électrique
- h. Frais d'expédition et taxes.

Les **frais d'installation**, par contre, se réfèrent aux dépenses pour les permis de construire, pour l'acquisition de terrains, pour la construction de bâtiments (sauf si le système de cogénération est petit et l'espace est déjà disponible), pour l'installation des équipements, pour la documentation et les dessins de conception relatifs à la construction des installations en question.

Enfin, les **coûts de conception** comprennent les éléments de coût suivants:

- ✓ Frais d'ingénierie pour l'analyse, la conception, la planification et le développement d'un système de cogénération
- ✓ Frais de gestion de la construction
- ✓ Etudes environnementales et frais d'autorisation
- ✓ Frais juridiques
- ✓ Lettres de crédit
- ✓ Formation du personnel
- ✓ Financement du projet
- ✓ Imprévus (compensation des coûts imprévus)

Dans le Tableau 57 le classement des postes CAPEX relatifs à une centrale de cogénération est à nouveau proposé.

*Tableau 57. Classification des coûts CAPEX d'une centrale de cogénération*

Costi di capitale (CAPEX)
<b>Costi dell'attrezzatura</b>
Costo per il motore principale e gruppo elettrogeno
Costo per le apparecchiature di recupero del calore e relative tubazioni
Costi per l'impianto di scarico del gas
Costi per le attrezzature per l'approvvigionamento del carburante
Costi per il sistema di ventilazione e alimentazione dell'aria comburente
Costi del quadro di comando
Costi di interconnessione con la rete elettrica
Costi di spedizione e tasse
<b>Costi d'installazione</b>
Costo permessi costruzione
Costo terreno
Costo costruzioni
Costo documentazione e disegni
<b>Costi di progettazione</b>
Onorari di ingegneria per l'analisi, la progettazione, la pianificazione e lo sviluppo di un sistema di cogenerazione
Commissioni di gestione della costruzione
Studi ambientali e costi di autorizzazione
Spese legali
Lettere di credito
Formazione del personale
Finanziamento del progetto
Imprevisti

Source: notre élaboration.

En se concentrant plutôt sur OPEX, il est possible de les classer en:

- Frais de carburant
- Coûts des consommables autres que le carburant (par ex. Huiles lubrifiantes)
- Frais de personnel
- Frais de maintenance
  - i) maintenance programmée
  - ii) entretien au besoin
- Frais d'assurance
- Coûts environnementaux
- Autres frais d'exploitation.

Dans le Tableau 58 la structure des éléments de coût OPEX est affichée.

*Tableau 58: Classification des coûts OPEX d'une centrale de cogénération*

Costo operativo (OPEX)
Costi del carburante
Costi dei materiali di consumo diversi dal carburante
Costi del personale
Costi di manutenzione
Costi assicurativi
Costi ambientali
Altri costi operativi

Source: notre élaboration.

Afin d'avoir des paramètres économiques et financiers initiaux et des KPI fonctionnels à une évaluation initiale de la commodité de construire ce type de systèmes, nous sommes partis de l'analyse de la littérature académique dominante sur le sujet. En particulier, les données de coût rapportées ici sont extraites des travaux scientifiques de Frangopoulos (2017) «Analyse économique des systèmes de cogénération», qui indique le coût d'investissement et de fonctionnement par unité de puissance fournie par les deux «moteur à gaz de combustion interne »et du type« moteur à turbine à gaz ».

Comme indiqué dans le Tableau 59, la fourchette de coûts CAPEX identifiée pour les centrales de cogénération de type «moteur à turbine à gaz» est comprise entre 550 euros par MW, dans le cas d'une puissance électrique fournie égale à 20 MW, et 1 200 euros dans le cas de 1 MW de énergie électrique. Il est donc tout à fait évident qu'il existe de fortes économies d'échelle en ce qui concerne les postes CAPEX, en vertu desquelles, à mesure que la taille de la centrale augmente, il y a une réduction assez significative du coût unitaire pour la production de 1 MW d'électricité.

En ce qui concerne le coût OPEX d'un même type de centrale de cogénération, la fourchette de coût se situe entre 9,9 et 14,3 euros par MW d'électricité pour les centrales de 3 à 45 MW.

Dans le cas d'un système de cogénération avec moteur à combustion interne au gaz, la fourchette de coûts CAPEX par MW se situe toutefois entre 770 et 1 100 euros par MW d'électricité.

Le coût OPEX d'un même type de centrale, d'une puissance électrique comprise entre 0,1 et 9,5 MW, se situe dans une fourchette comprise entre 9,3 et 27,5 euros par MW de puissance.



Tableau 59: Valeurs des coûts OPEX et CAPEX par MW de centrales de cogénération de moteurs à combustion interne et de turbines à gaz

Tipo di motore	Potenza	OPEX per MW	CAPEX per MW
Motore a turbina a gas	20 MW		550
	1 MW		1.200
	3-45 MW	9,9-14,3 €	
Motore a combustione interna a gas	20 MW		700
	1 MW		1.100
	0,1-9,5 MW	9,3-27,5 €	

Source: notre élaboration.

D'un point de vue méthodologique, afin de faire une première évaluation de la commodité économique d'avoir des centrales énergétiques de ce type, le décideur doit adopter la logique CAE (coût annuel équivalent) dans la méthodologie plus large de budgétisation des investissements. C'est notamment le cas lorsque l'évaluation est comparative entre des investissements alternatifs (peut-être n'ayant pas la même durée de vie utile) ou que l'évaluation en question doit considérer la comparaison avec une situation pré-intervention existante (par exemple pour évaluer une hypothèse de remplacement d'usine).

Comme on le sait, le CAE d'un investissement (réalisé aujourd'hui) est le cash-flow annuel (positif) nécessaire pour récupérer un investissement tout au long de sa vie économique (compte tenu également du coût du capital). Sur le plan opérationnel, le CAE est calculé en transformant un investissement actuel en une série de flux de trésorerie futurs (ou en une rente qui a la même VA que l'investissement). Puisqu'il s'agit d'une évaluation d'un centre de coûts, il y aura évidemment des flux de trésorerie négatifs (c'est-à-dire des dépenses pour l'installation et la gestion du système). Cette approche méthodologique, en effet, est utilisée dans diverses circonstances, par exemple lorsqu'il est nécessaire de choisir entre des équipements, des usines ou d'autres investissements de durée différente (durée de vie économique).

Le CAE est donc ce flux de trésorerie pour lequel le revenu annuel ayant  $CF = CAE$  et une durée égale à la durée de vie utile de l'usine / de l'investissement ( $t = n$ ) pour lequel l'expression suivante s'applique:

$$VA_{CAE} = CAE * \left[ \frac{1}{r} - \frac{1}{r(1+r)^n} \right] = VAN_I$$

D'où il est clair que le CAE de l'investissement dans la centrale de co- ou trigénération est donné par:

$$CAE = \frac{VAN_I}{\text{Fattore rendita di } n \text{ anni}}$$

Avec la précision que *in questo caso per VAN dell' investimento si* signifie uniquement la valeur actuelle des coûts associés à l'investissement et celle entre deux investissements alternatifs, dans ce cas, dans des usines de production d'énergie, celui caractérisé par CAE plus bas.

### 8.5. Besoins énergétiques des zones portuaires de la zone de référence

Cette section analyse les besoins énergétiques liés à certains ports de la zone du programme. Plus précisément, les résultats seront rapportés pour le port de Gênes et le port de Livourne, pour lesquels, également à travers le produit T 2.1.2, il a été possible de quantifier, grâce à l'utilisation de questionnaires soumis aux opérateurs de terminaux opérant dans les ports eux-mêmes, les besoins énergétiques globaux et spécifiques de chaque opérateur de terminal. A noter que la réalité portuaire



étant extrêmement complexe en termes d'utilisation et de gestion des sources d'énergie, les questionnaires n'ont permis de cartographier qu'une partie de l'ensemble des besoins énergétiques du port. L'estimation de la part manquante a eu lieu grâce à l'utilisation de paramètres d'indicateurs, développés à partir des données fournies par les questionnaires.

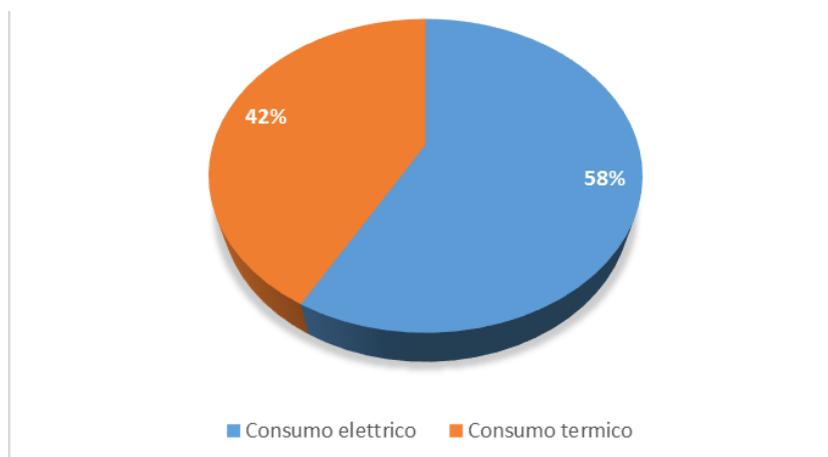
En ce qui concerne le port de Gênes, la procédure d'estimation prospective des besoins énergétiques des zones portuaires au moyen de la définition de paramètres indicateurs (KPI, Key Performance Indicators), basée sur les résultats fournis, à travers des données désagrégées, à travers la compilation des questionnaires décrits dans les produits antérieurs, ont permis d'analyser les activités des opérateurs de terminaux d'un point de vue énergétique, qui ont été regroupées dans les zones homogènes suivantes:

1. Marchandises générales
  - 1.1 Polyvalent
  - 1.2 Conteneur
2. Vrac liquide (pétrole, dérivés, etc.)
3. Vrac solide (charbon, minéraux ferreux et non ferreux, céréales, etc.)
4. Construction navale (construction et réparation navales)
5. Terminal passagers
6. Marine (navigation de plaisance)
7. Autres (entrepôts, logistique, etc.).

Sur la base des KPIs calculés et de l'analyse des statistiques descriptives (espaces portuaires occupés par les différentes catégories d'opérateurs de terminaux / concessionnaires; volumes de trafic gérés, etc.), la consommation d'énergie relative au port de Gênes a d'abord été estimée. En considérant ensemble les données de consommation réelle et les estimations des concessionnaires pour lesquelles les données ne sont pas disponibles.

Cette analyse conduit à une estimation de la consommation d'énergie du port de Gênes, en énergie primaire, égale à 480,05 GWh (Figure 47). Cette valeur est donnée par la somme de la consommation thermique (énergie primaire 193,21 GWh) et de la consommation électrique primaire (286,83 GWh). La consommation électrique primaire correspond à 131,94 GWh de consommation électrique absorbée par les exploitants de terminaux / concessionnaires. La Figure 47 montre le diagramme circulaire relatif à la consommation d'électricité rapportée en termes de consommation d'énergie primaire et thermique.

*Figure 47. Estimations de la consommation du port de Gênes (énergie primaire): poids relatif de la consommation thermique et électrique.*





Source: notre élaboration.

En analysant plus en détail les besoins énergétiques des classes homogènes précédentes et en divisant les composants de consommation électrique et thermique qui composent la consommation globale en sous-catégories plus détaillées, il est possible de faire une évaluation plus précise des besoins énergétiques. À l'exclusion de ces besoins énergétiques ceux relatifs à l'utilisation de carburants destinés aux moyens de transport non électriques, non adaptés à l'évaluation des besoins énergétiques pour l'identification des catégories pour lesquelles l'adoption de centrales de cogénération dans la zone portuaire pourrait être envisagée, il est possible d'évaluer, pour les différentes catégories, la relation caractéristique entre l'énergie thermique et l'électricité requise. Ces valeurs sont reportées dans le Tableau 60.

*Tableau 60: Relation caractéristique entre les besoins en chaleur et en électricité pour les différentes catégories homogènes analysées*

	<b>Rapporto tra energia termica ed elettrica</b>
<b>Container</b>	0,20
<b>Cantieristica</b>	0,63
<b>Rinfuse liquide</b>	3,41
<b>Multipurpose</b>	1,24
<b>Terminal passeggeri</b>	0,25
<b>Marine</b>	0,03
<b>Rinfuse solide</b>	0,36

Source: notre élaboration.

De ces rapports, il ressort clairement que les catégories ayant des besoins en chaleur plus élevés que l'électricité sont la catégorie du vrac liquide et la catégorie polyvalente. Comme indiqué précédemment, la catégorie des vracs liquides doit la forte demande d'exigences de chaleur à la nécessité de maintenir les mazouts à une température constante pour faciliter leur manipulation. La catégorie polyvalente présente également un rapport entre l'énergie thermique et électrique supérieur à l'unité, quoique inférieur à celui lié à la catégorie vrac liquide, en raison de la présence d'immeubles de bureaux nécessitant un chauffage en période hivernale. Sur la base de ces analyses, les exemples d'application des centrales de cogénération présentés dans les paragraphes suivants seront donc appliqués aux deux catégories décrites ci-dessus.

En ce qui concerne le port de Livourne, l'estimation de la consommation se fonde sur les données fournies par l'autorité du système portuaire de la mer Tyrrhénienne septentrionale, notamment sur les réponses aux questionnaires adressés aux opérateurs. L'évaluation était divisée en trois parties:

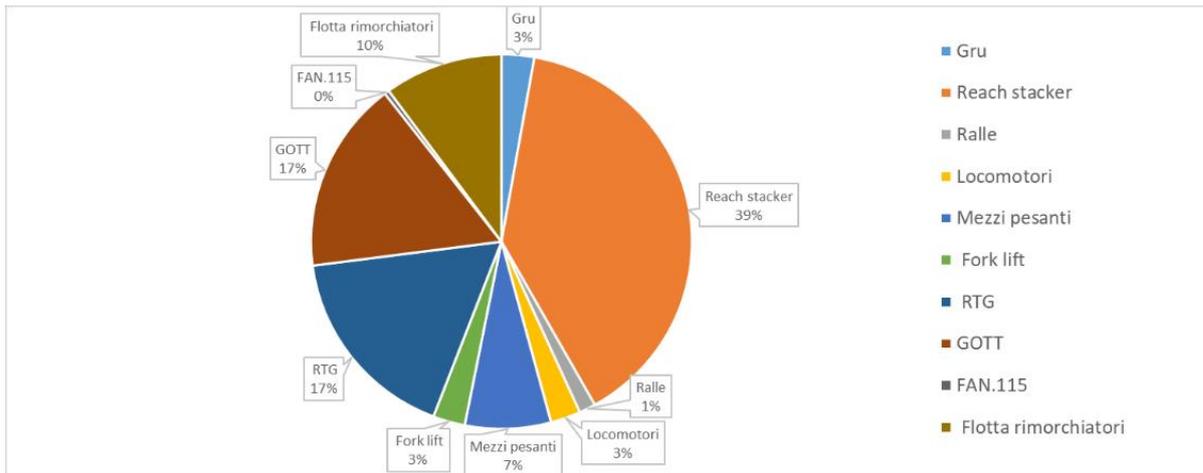
- Consommation due à la circulation des marchandises sur le quai et des remorqueurs.
- Consommation due aux navires stationnés.
- Consommation d'électricité et de chaleur pour d'autres usages par les opérateurs (ex: bureaux, entrepôts).

En ce qui concerne la première catégorie, pour obtenir une estimation globale de l'ensemble du port, la consommation annuelle de tous les véhicules de tous les opérateurs a été additionnée (l'Autorité portuaire rapporte que le diesel est le carburant principalement utilisé pour les véhicules à quai). Voici les opérateurs pour lesquels aucune donnée n'est disponible: Mooring Group, Intercontainers Livorno, Bartoli, Mariter, Porto Commerciale, Livorno Est. Pour estimer la consommation de ces opérateurs

manquants, le nombre et le type de véhicules ont été obtenus à partir de références en ligne et multipliée par la consommation unitaire de chaque type de véhicule obtenue à partir des présents questionnaires des autres opérateurs. Par conséquent, l'estimation est très approximative et se situe autour de 3 millions de litres de diesel par an (environ 30 GWh), pour l'ensemble du port.

Dans la Figure 48 la contribution à la consommation totale de chaque type de véhicule est indiquée.

Figure 48 - Contribution à la consommation totale pour chaque type de véhicule



Source: notre élaboration.

Quant à l'arrêt des navires, dans le port de Livourne il y a un quai électrifié mais il n'est pas utilisé. Les données fournies se réfèrent aux principales catégories de navires en service et la consommation d'énergie lors de l'escale est basée sur une estimation réalisée à partir des heures d'arrêt réelles des navires et des puissances installées à bord. Les types de combustibles (principalement les fiouls) et les quantités consommées ne sont pas connus car ce sont des données confidentielles que les armateurs ne partagent pas. Le Tableau 61 résume la consommation estimée des navires en stationnement. Comme on peut le voir dans le rouge, la consommation annuelle totale est d'environ 12,3 GWh. En supposant un rendement des moteurs de 30%, la consommation d'énergie primaire est d'environ 41 GWh.

Tableau 61: Type et consommation des navires stationnés

Dati navi in sosta con potenza massima dei generatori ausiliari inferiore a 1500 kW								
Tipo nave	Numero arrivi	Numero navi	Totale ore sosta	Media ore sosta	Totale potenza generatori (kW)	Media potenza generatori (kW)	Energia totale in sosta (kWh)	Media energia in sosta (kWh)
Passenger/Ro-Ro Cargo Ship	338	1	3617	11	399747	1183	4278196	12657
GENERAL CARGO SHIP	94	63	4519	48	70976	755	3274361	34834
RO-RO CARGO SHIP	61	3	1313	22	84023	1377	1843671	30224
CONTAINER SHIP	11	4	374	34	6619	602	255638	23240
VEHICLES CARRIER	4	2	27	7	4804	1201	34129	8532
Passenger (Cruise) Ship	5	5	74	15	5796	1159	80724	16145
PRODUCTS TANKER	1118	4	2885	3	991679	887	2558881	2289
<b>Totale</b>	<b>1631</b>	<b>82</b>	<b>12809</b>		<b>1563644</b>		<b>12325600</b>	

Source: notre élaboration.

On suppose que les quelque 12,33 GWh par an sont actuellement produits avec des moteurs à combustion interne avec un rendement de fonctionnement moyen de 33%, donc avec une consommation de diesel de 37 GWh. En considérant que le diesel a un pouvoir calorifique inférieur de 11,83 kWh /

kg, soit 10 kWh / l, cette consommation correspond à 3.700.000 litres de diesel. Dans le cas d'une alimentation à quai, il est évident que les émissions de CO<sub>2</sub>, ainsi que celles des autres polluants, seraient localement nulles et globalement réduites par rapport au mix de production électrique national actuel égal à moins de 300 gCO<sub>2</sub> / kWh, comme indiqué dans le tableau. où sont présentées les données au niveau européen.

En général, cependant, il est difficile d'électrifier le quai et de préparer les navires à l'alimentation en courant alternatif depuis la côte. Par conséquent, une alternative à moindre coût d'infrastructure peut être envisagée: une alimentation à quai via des unités mobiles de production d'électricité alimentées au GNL. Dans ce cas, il est supposé fournir 12,33 GWh avec des moteurs à combustion interne optimisés avec un rendement moyen plus élevé, env. 40%, consommant ainsi 30,8 GWh de GNL, correspondant à 2 217 626 kg de GNL (pouvoir calorifique du méthane 13,9 kWh / kg) avec des émissions de CO<sub>2</sub> de 6098 tonnes (2,75 kg de CO<sub>2</sub> par kg de méthane); donc une réduction de 40% des émissions de CO<sub>2</sub> par rapport à la production embarquée avec des unités diesel.

Enfin, s'agissant de la consommation relative aux opérateurs, il faut souligner que les données de nombreux opérateurs font malheureusement défaut. Ci-dessous dans le Tableau 62, seule la consommation moyenne d'électricité (2016-2017) trouvée est indiquée.

*Tableau 62: Consommation d'électricité et de gaz naturel des exploitants du port de Livourne (partielle)*

<b>Consumi energia elettrica/impianti termici/altro</b>			
	<b>EE [kWh]</b>	<b>ET gas naturale [m3]</b>	<b>ET Gpl [m3]</b>
<b>Terminal darsena toscana</b>	8.714.461	13.461	
<b>Lorenzini &amp; C</b>	1.104.663		
<b>Costieri D'Alesio e Toscopetrol</b>	2.497.358		
<b>Terminal Calata Orlando</b>	48.272		
<b>Grandi Molini Italiani</b>	100.000		
<b>FRATELLI NERI SPA</b>	588.247		2.300
<b>AUTOVETTURE CP LIVORNO</b>			
<b>CAPITANERIA DI PORTO DI LIVORNO (sede distaccata)</b>	72.256	3.193	
<b>CAPITANERIA DI PORTO DI LIVORNO (sede centrale)</b>	81.572	10.626	
<b>Tot</b>	13.206.831	27.281	2.300

Source: notre élaboration.

La quantité de produits pétroliers chargés et déchargés peut être déduite de l'annexe statistique 2019 du port de Livourne. Ces produits doivent être chauffés avant d'être transportés dans des canalisations dédiées. A ce jour, une raffinerie Eni est présente et opérationnelle à Livourne, qui autoproduit de l'énergie et utilise donc la chaleur résiduelle en cogénération à cet effet. Pour l'avenir, compte tenu de l'évolution du scénario européen en termes de consommation de combustibles fossiles, il n'est pas irréaliste d'imaginer une forte réduction des effectifs du secteur européen du raffinage du pétrole. Dans cette perspective, on peut penser que les produits «Pétrole» qui seront encore débarqués dans le port de Livourne à d'autres fins, ne pourront plus bénéficier de la présence de chaleur résiduelle de la raffinerie



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



actuelle. Dans ce cas, surtout si le futur port sera équipé d'usines d'autoproduction électrique, utilisant peut-être du GNL, cette chaleur pourrait être obtenue en cogénération.

### **8.6. Exemples d'application de plantes cogénératives et trigénératives**

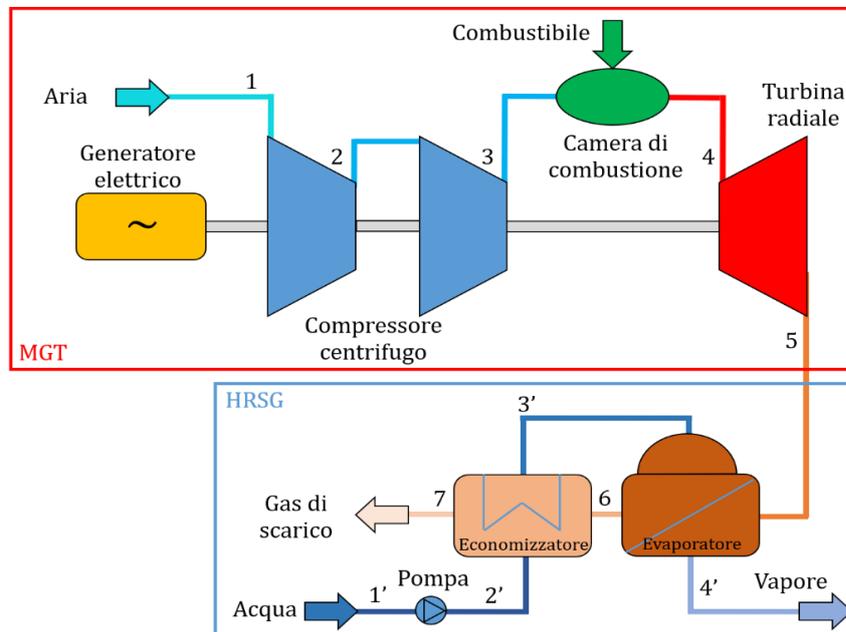
Ce paragraphe présente quelques exemples d'applications potentielles concernant les centrales de cogénération ou de trigénération dans les zones portuaires des régions d'intérêt du projet. Comme souligné dans les paragraphes précédents, l'analyse des infrastructures présentes dans le port de Gênes a quantifié l'impact énergétique associé aux utilisateurs, que l'on peut qualifier d'«énergivore»: ceux-ci sont associés à la consommation d'électricité et de chaleur, pour la plupart des structures. Les interventions possibles sur le contexte décrit agissent principalement à deux niveaux: un objectif est de réduire la dépense liée à l'achat d'électricité, par la rationalisation de la consommation; une deuxième option impliquerait l'installation de systèmes d'autoproduction de l'énergie consommée, bénéficiant de solutions à haut rendement. À cette fin, on peut se référer à une technologie de cogénération, grâce à laquelle la production combinée d'électricité et de chaleur est rendue disponible.

Plus précisément, en ce qui concerne le port de Gênes, il a été possible de procéder à la rédaction de deux analyses de faisabilité concernant une centrale de cogénération au service des opérateurs de terminaux opérant dans le domaine de la manutention de vrac liquide et une centrale de type trigénérative au service des bâtiments pour Usage de bureau.

Pour les deux applications, après une analyse des besoins des utilisateurs au cours de l'année, il a été possible de faire l'hypothèse de la configuration de deux systèmes. Le premier, de type cogénératif, capable de produire de l'électricité et de la chaleur, transporté au moyen de vapeur, utilisé comme vecteur énergétique, et le second, de type trigénératif, capable de produire de l'électricité et de l'énergie thermique. Cette énergie thermique est utilisée à la fois pour la production de chaleur et pour la production de froid, au moyen de l'utilisation d'un refroidisseur à absorption, afin de conditionner les immeubles de bureaux.

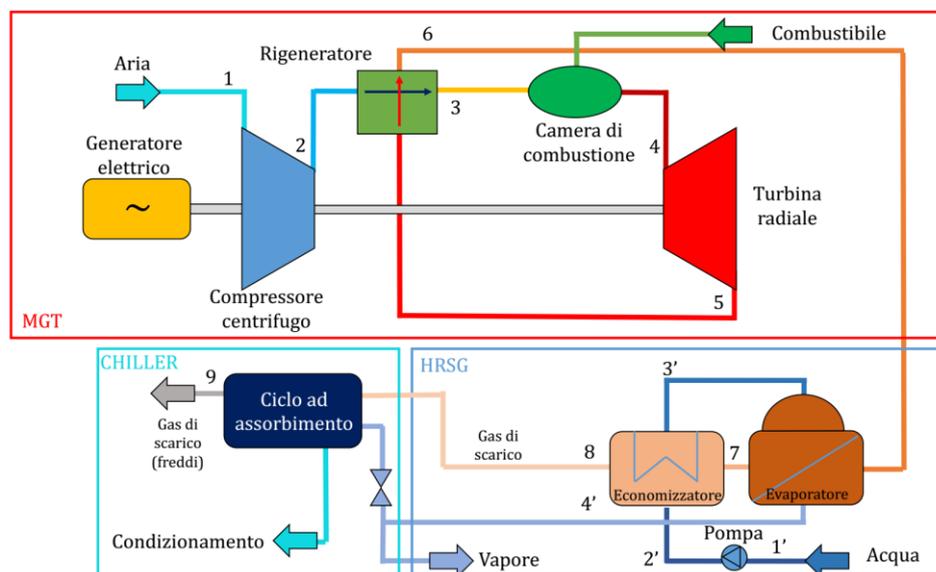
Les deux systèmes, bien que de tailles différentes, reposent sur l'utilisation de micro-turbines à gaz, qui présentent un rapport puissance / poids élevé et alimentent l'échappement en fumées haute température (de l'ordre de 500 ° C pour un cycle simple et 300 ° C pour cycle régénéré). À titre d'exemple, dans la Figure 49 le schéma d'une centrale de cogénération est montré, tandis qu'en Figure 50 le schéma simplifié du module constituant le système de trigénération proposé est représenté.

Figure 49: Schéma d'une centrale de cogénération pour la production combinée d'électricité et de chaleur (vapeur)



Source: notre élaboration.

Figure 50: Schéma de la centrale de trigénération proposée



Source: notre élaboration.

Pour les deux solutions, les effets liés au remplacement des systèmes traditionnels par ceux proposés ont été évalués à la fois du point de vue des aspects économiques, et donc du temps de retour sur investissement, et du point de vue des délais de construction.

### 8.7. État de la technique et examen des profils empiriques liés aux applications des usines de co- et de trigénération de GNL dans les portes maritimes au niveau national

Au niveau national, la technologie de cogénération qui implique l'utilisation du GNL, appliquée dans les secteurs maritime et portuaire, est encore dans un état plutôt embryonnaire; la situation est encore plus évidente en ce qui concerne la technologie de trigénération au GNL, puisqu'il n'y a à ce jour aucun cas concret, ni réalisé ni prévu dans le secteur maritime portuaire.

Revenant à l'examen de l'état de l'art concernant la conception et la construction de centrales de cogénération dans la zone maritime-portuaire, les activités de recherche menées dans le cadre du projet TDI RETE-GNL ont mis en évidence quelques premières études de cas intéressantes en rapport avec projets nationaux et internationaux qui envisagent l'utilisation de la technologie de la cogénération pour la réutilisation et la gestion du BOG (boil off gas) généré par les terminaux maritimes de regazéification, de stockage et de soutage de GNL.

En Italie, au cours des 20 dernières années, il y a eu trois grands projets liés aux centrales de cogénération au GNL (cf. Tableau 63).

En ce qui concerne le terminal Panigaglia à La Spezia, il a été présenté en 2006 par GNL Italia S.p.A. une étude d'impact environnemental sur l'installation dans la zone portuaire de Panigaglia d'une centrale de cogénération pour l'autoproduction d'électricité. La centrale de cogénération choisie pour l'analyse d'impact environnemental se compose de:

- ✓ Un système de production d'électricité, en parallèle du réseau, avec un turbogénérateur d'environ 31 745 MW aux conditions environnementales de référence (15 ° C au niveau de la mer).
- ✓ Un système de récupération de chaleur sur les gaz d'échappement constitué d'un échangeur de chaleur d'une puissance d'environ 35 MW dans les mêmes conditions, pour chauffer l'eau des vaporisateurs.
- ✓ Auxiliaires et accessoires nécessaires au fonctionnement sûr et efficace de l'équipement fourni.

*Tableau 63: Projets nationaux de cogénération dans le secteur maritime portuaire*

PAESE	PORTO	TERMINAL	ANNO PROGETTO	PROPONENTE	NOTE
ITALIA	La Spezia	Terminal SNAM di Panigaglia	2006	GNL italia S.p.a.	L'impianto di cogenerazione scelto per l'analisi di impatto ambientale è costituito da: - Un sistema di produzione di energia elettrica, in parallelo con la rete, con un turbogeneratore di taglia pari a circa 31.745 MW alle condizioni ambientali di riferimento (15 ° C al livello del mare). - Un sistema di recupero termico sui gas esausti composto da uno scambiatore di calore di capacità pari a circa 35 MW alle stesse condizioni, per il riscaldamento dell'acqua dei vaporizzatori. - Ausiliari e accessori necessari all'esercizio in sicurezza ed efficienza delle apparecchiature fornite.
ITALIA	Livorno	Terminal OLT Offshore LNG Toscana	2019	OLT	Il sistema di cogenerazione progettato è composto da un sistema di generazione elettrica composto da due turbogeneratori a vapore della potenza di 10 MW ciascuno, da due turbogeneratori a vapore della potenza di 3,35 MW ciascuno e da generatori diesel di emergenza.
ITALIA	Porto Torres	Terminal di Porto Torres	2017	Matrica S.p.a	Il progetto consiste nella realizzazione di una centrale dual-fuel, alimentata a gas naturale o Gpl, che permetta l'autonomia energetica degli impianti di Matrica nell'ambito degli interventi previsti sulla chimica verde a Porto Torres. La centrale sarà costituita da un turbogeneratore da 5,5 MW e da una caldaia per la generazione di vapore. L'alimentazione a Gpl sarà garantita attraverso un sistema di collegamento con la rete di stabilimento già esistente.

Source: notre élaboration<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Les informations contenues dans le tableau 4 ont été obtenues auprès des sources suivantes: Plan réglementaire du port de Livourne année 2014, rapport «projet final transfert de GNL à petite échelle OLT» mars 2019, rapport «modernisation et adaptation de l'usine de GNL de Panigaglia» année 2006, site <https://www.ccj-online.com/4q-2012/plant-reports-ecoeletrica-lp/> et <http://www.gasprocessingnews.com/news/ferc-approves-lng-import-terminal-expansion-in-puerto-rico.aspx>



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Le fonctionnement de la centrale de cogénération et du système de récupération est le suivant: la chaleur contenue dans les fumées d'échappement de la turbine est envoyée au moyen de conduits isolés vers un récupérateur pour chauffer un fluide intermédiaire (H<sub>2</sub>O). L'eau chauffée est ensuite acheminée vers les réservoirs des vaporisateurs à flamme immergée 5 + 1 type 20-XF-02 A / B / C / D / E / F au moyen de conduits traversants à *rack*<sup>10</sup>, contribuant à fournir la chaleur nécessaire à la vaporisation de GNL.

L'eau déminéralisée, après avoir transféré la chaleur de vaporisation sensible au GNL, est collectée dans un réservoir d'accumulation / de remplissage et renvoyée vers l'échangeur de chaleur à l'aide des pompes 20-P-02A / B pour être à nouveau chauffée. L'usine est donc équipée d'un système de récupération de chaleur sur les gaz d'échappement de la turbine dans le procédé de regazéification du GNL (chauffage de l'eau des vaporisateurs), ce qui garantit d'importantes économies de chaleur (environ 35000 kW) et donc d'essence. Le GNL vaporisé avec récupération est d'environ 183 t / h (tonnes / heure).

À ce jour, le projet du terminal de Panigaglia n'a pas encore été approuvé et le projet est resté en discussion.

Un autre projet concernant la construction d'une centrale de cogénération GNL dans la zone portuaire maritime au niveau national est celui du terminal OLT Offshore LNG Toscana. Le projet présenté en mars 2019 par OLT prévoit d'équiper le terminal d'un système de gestion et de valorisation BOG de type cogénération.

Le système de cogénération conçu est composé d'un système de génération électrique composé d'une centrale à vapeur composée de deux turbogénérateurs à vapeur d'une puissance de 10 MW chacun, de deux turbogénérateurs à vapeur d'une puissance de 3,35 MW chacun et de générateurs diesel de secours. La vapeur nécessaire pour alimenter les turbines est produite par deux chaudières à gaz combustible (chacune d'une taille de 40 MWt). Ces chaudières sont conçues pour utiliser du GN (Gaz Naturel) dérivant du BOG du GNL comme fluide combustible primaire et du MGO (Marine Gas Oil) en cas de fonctionnement anormal. Le projet relatif à la centrale de cogénération au GNL mentionné dans l'OLT est toujours en discussion.

Enfin, un autre exemple de projet de centrale de cogénération GNL dans la zone portuaire au niveau national, déposé pour autorisation environnementale auprès du service des évaluations environnementales de la Direction régionale de la défense environnementale en 2017, est l'étude environnementale préliminaire relative à projet «Installation d'une nouvelle centrale de cogénération desservant l'usine de Matrìca à Porto Torres» présenté par la société Matrìca SpA.

Le projet consiste en la construction d'une centrale bicarburant, alimentée au gaz naturel ou au GPL, qui permet l'autonomie énergétique des usines de Matrìca dans le cadre des interventions prévues sur la chimie verte à Porto Torres. La centrale sera composée d'un turbogénérateur de 5,5 MW et d'une chaudière pour la production de vapeur. Le ravitaillement en GPL sera garanti par un système de connexion avec le réseau existant de l'usine. Dans le cas de l'utilisation du méthane, cependant, l'approvisionnement se fera avec un système spécifique de stockage et de vaporisation de GNL.

Le projet a été approuvé par la région Sardaigne à la fin de 2017, donnant à l'entreprise proposante cinq ans pour construire l'usine.

---

<sup>10</sup> Les structures de menuiserie métalliques industrielles de type Pipe Rack (ou «pipe holder») remplissent la double fonction de sécurisation des systèmes et d'optimisation des espaces, et peuvent être utilisées aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur du lieu de travail.

## 8.8. Co- et tri-génération dans le domaine port maritime: bonnes pratiques au niveau international

Comme déjà indiqué, à ce jour, il n'y a pas de cas d'application de centrales de trigénération GNL en milieu portuaire maritime, même pas au niveau international, sur la base des premières analyses préliminaires réalisées dans le cadre du projet TDI RETE-GNL; cependant les activités de recherche menées ont mis en évidence l'existence de différents cas de centrales de cogénération au GNL, soulignant que dans certaines circonstances ce type de centrale peut être une solution technologique valable d'un point de vue environnemental mais aussi économiquement durable.

Parmi les différents cas relevés au niveau international, l'étude de l'analyse de rentabilisation du terminal GNL de Porto Rico est jugée digne, en raison du fort impact que ce terminal a dans la production d'électricité desservant le réseau national et d'eau douce.

Au début des années 90, la Puerto Rico Electric Power Authority (PREPA) a reconnu la nécessité d'ajouter 1 200 MW de nouvelle capacité électrique d'ici 2000 pour suivre le rythme de la croissance annuelle prévue de la demande d'énergie de 3 à 4%.

En juin 1995, PREPA avait une capacité énergétique disponible qui dépassait légèrement sa charge maximale de 2748 MW et ne pouvait pas financer la capacité de nouvelle génération sans risquer une dégradation de sa note de crédit (la dette senior non garantie de PREPA était notée BBB + de Standard and Poor's et Baa1 de Moody's).

En réponse aux défis financiers, techniques et environnementaux de l'ajout de nouvelles capacités de production, PREPA s'est tourné vers l'industrie énergétique indépendante internationale. PREPA a évalué plus d'une dizaine de propositions de projets énergétiques indépendants.

La proposition d'EcoEléctrica à PREPA était opportune et approuvée en 1994: importer du GNL sur l'île de Porto Rico et l'utiliser pour alimenter une centrale électrique à turbine à gaz à cycle combiné de 500 MW, avec du GPL comme combustible de secours.

La construction du terminal, achevée en 2000, a produit un terminal avec des installations nominales de réception, de stockage et de regazéification de GNL de deux millions de barils (318000 m<sup>3</sup>), un réservoir de stockage brut de GNL d'un million de barils (159000 m<sup>3</sup>) une installation d'amarrage de méthaniers de classe mondiale (15 000 m<sup>3</sup> à 137 000 m<sup>3</sup>) et un quai de 533 m (Figure 51).

*Figure 51: Projet EcoEléctrica sur l'île de Porto Rico; Terminal GNL couplé à une centrale électrique à turbine à gaz à cycle combiné*



Source: <https://www.ccj-online.com/4q-2012/plant-reports-ecoelectrica-lp/>

L'électricité produite par EcoEléctrica, qui constitue 20% de l'énergie totale produite sur l'île de Porto Rico, est acheminée vers le réseau électrique géré par la Puerto Rico Electric Power Authority (PREPA); précisément, il est transféré à la centrale thermique PREPA de Costa Sur à environ 2-3 miles de distance via un pipeline de 20 pouces à la frontière de la centrale de Costa Sur.

La centrale électrique EcoEléctrica attachée au terminal se compose de deux turbines à combustion Westinghouse 501F<sup>11</sup> d'une puissance nominale de 160 MW; et une turbine à vapeur Toshiba, puissance nominale de 214 MW, cette dernière en fonctionnement grâce à l'énergie générée par la chaleur résiduelle des gaz d'échappement sous forme de vapeur utilisée à la fois pour alimenter cette turbine à vapeur et une usine de dessalement .

La solution EcoEléctrica pour Porto Rico comprend également un avantage supplémentaire pour l'île: l'eau douce. La côte sud de Porto Rico est naturellement sèche et l'Autorité des aqueducs et des égouts de Porto Rico (PRASA), ainsi que PREPA, ont besoin de nouvelles sources d'approvisionnement en eau douce. EcoEléctrica, utilisant l'énergie thermique sous forme de vapeur basse pression produite par le système de cogénération combiné, a construit et exploite une usine de distillation multiple (MED) de 2,0 millions de gallons / jour (7570 m<sup>3</sup> / jour) pour répondre vos besoins en eau douce et approvisionnez en eau PRASA.

En 2017, EcoElectrica a obtenu l'autorisation d'extension de la capacité de regazéification du terminal auprès de la "Federal Energy Regulatory Commission" américaine. L'expansion s'élève à environ 93 millions de pieds cubes standard par jour (scfd<sup>12</sup>) qui servira principalement à alimenter en combustible deux unités à vapeur conventionnelles nominales de 400 MW de la centrale électrique de Costa Sur de la Puerto Rico Electric Power Authority (PREPA).

---

<sup>11</sup> L'énergie cryogénique produite par le terminal GNL (transférée via un circuit de refroidissement eau / glycol en circulation), en plus de produire de l'énergie électrique et thermique, est utilisée pour refroidir l'air entrant des turbines à combustion Westinghouse dans le climat tropical de Porto Rico (température moyenne de l'air sur le site de 27 ° C (80 ° F)). L'utilisation du refroidissement par air d'admission sur les turbines à combustion se traduit par une puissance supplémentaire et une efficacité énergétique accrue. À son tour, la chaleur ambiante rejetée par l'air entrant de la turbine de combustion et d'autres sources de chaleur résiduelle est utilisée pour vaporiser le GNL pour l'utiliser comme carburant dans les turbines à combustion.

<sup>12</sup> Le pied cube standard est une unité de mesure de la quantité de gaz, généralement définie comme la quantité d'un gaz par le volume d'un pied cube, à une température de 60 ° F (15,56 ° C) et une pression de 14,7 livres par pouce carré (1,013418 bar).



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## **9. FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.4.1 "RAPPORT DE CLASSIFICATION ET EXAMEN DES RISQUES DES INSTALLATIONS DE GNL DANS LA ZONE PORTUAIRE"**

### **9.1. Objectif du produit T2.4.1**

Le produit T2.4.1 "Rapport de classification et d'examen des risques des installations de GNL dans l'environnement portuaire" est divisé en une première section qui définit le cadre réglementaire applicable au système de soutage du GNL, suivie d'un cadre conceptuel et technique pour l'analyse et l'évaluation des risques. La section suivante vise à illustrer tous les risques possibles découlant de l'utilisation de la substance GNL, en fournissant une description détaillée des différentes options technologiques pour le soutage et le stockage du GNL dans l'environnement marin et portuaire. En outre, la gestion des risques dans le scénario spécifique de la chaîne d'approvisionnement en GNL à petite échelle dans les zones portuaires est examinée en profondeur, illustrant les méthodologies et pratiques établies pour définir les zones de sûreté et de contrôle autour des installations afin de prévenir les effets des événements indésirables. La section suivante est consacrée à la contextualisation de toutes les approches présentées, dans laquelle les profils de risque des différentes solutions technologiques de soutage sont comparés sur une base qualitative, afin d'introduire quelques éléments de base associés aux spécificités des zones portuaires impliquées dans ce projet.

### **9.2. Les principes réglementaires internationaux, européens et nationaux**

Afin de répondre aux graves préoccupations environnementales causées par les niveaux croissants de pollution dus au secteur des transports maritimes dans le monde entier, un certain nombre de mesures et de dispositions réglementaires ont été prises au fil du temps par les organismes internationaux et les autorités compétentes pour réduire les émissions de polluants qui ont un impact négatif sur l'air, la santé humaine et le climat. Dans cette optique, l'Organisation maritime internationale (OMI) a introduit en 1973 la "Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires", connue sous le nom de MARPOL 73/78, dont l'annexe VI introduit des limites de teneur en soufre plus strictes que par le passé en ce qui concerne les combustibles marins dans les zones SECA (1 % à partir du 1.07.2010 et 0,1 % à partir du 01.01.2015) ainsi que dans les zones maritimes hors SECA (3,5 % à partir du 01.01.2012 et 0,5 % à partir du 01.01.2020). En particulier, en ce qui concerne les sujets abordés, l'importance du règlement n° 14 sur les concentrations d'émissions de SO<sub>x</sub> et de particules et du règlement n° 13 sur les concentrations d'émissions de No<sub>x</sub> est mise en évidence. Afin d'assurer la cohérence avec le droit international et l'application correcte dans l'Union européenne des normes de teneur en soufre établies au niveau international, la directive 2016/802/UE (directive sur le soufre) du 11 mai 2016 exige la réduction des émissions de dioxyde de soufre provenant de la combustion de certains types de combustibles liquides, réduisant ainsi les effets néfastes de ces émissions sur les personnes et l'environnement, conformément aux politiques européennes en matière de protection du climat. Dans le même cadre réglementaire de l'UE, la directive 2014/94/UE (DAFI) du 22 octobre 2014 relative à la mise en œuvre d'un système d'infrastructure destiné à favoriser le déploiement de carburants de substitution. Au niveau national, l'Italie a mis en œuvre la directive 2014/94/UE (DAFI) du 22 octobre 2014 relative à la construction d'une infrastructure pour les carburants de substitution avec le décret législatif 257/2016, afin de réduire la dépendance au pétrole et d'atténuer l'impact environnemental dans le secteur des transports.

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



En outre, le produit T2.4.1 fournit une liste de base non exhaustive des principales réglementations et directives internationales et européennes en matière de sécurité et de sûreté des opérations de soutage, des installations, des machines et des infrastructures portuaires, ainsi que des principales réglementations et normes techniques relatives au "navire". Pour chacune des références normatives et chacun des documents mentionnés, une brève description du contenu le plus pertinent est également fournie. Le tableau ci-dessous (Tableau 64) fournit des détails sur les réglementations et les lignes directrices de référence pour le GNL.

Tableau 64. Réglementation de référence pour le GNL

	<i>Denominazione</i>	<i>Ente di normazione</i>	<i>Anno</i>
<b>Livello internazionale</b>	<i>Marpol 73/78</i>	IMO	1973
	<i>Solas</i>	IMO	1974
	<i>International code of safety for ships using Gases or other low-flashpoint fuels constructions &amp; bunkering of LNG Fueled vessels</i>	IMO	2017
	<i>International code for the construction and equipment of ships carrying liquefied Gases in bulk construction of LNG Carrier vessels code</i>	IMO	1986
	<i>International Maritime Dangerous Goods code</i>	IMO	2018
	<i>Convenzione Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers</i>	IMO	1978
	<i>International Ship and Port facility Security Code</i>	IMO	2002
<b>Livello europeo</b>	<i>Direttiva 2016/802/UE (Sulphur Directive)</i>	UE	2016
	<i>Direttiva 2014/94/UE (DAFI)</i>	UE	2014
	<i>Direttiva 2012/18/UE (Seveso III)</i>	UE	2018
<b>Livello nazionale</b>	<i>Dlgs 257/2016</i>	PdR	2016
<b>Norme tecniche</b>	<i>ISO 8943:2007</i>	ISO	2007
	<i>ISO 10976:2012</i>	ISO	2012
	<i>ISO 12991:2016</i>	ISO	2016
	<i>ISO 18132-1:2011</i>	ISO	2011
	<i>EN 1474-1: 2008</i>	EN	2008
	<i>EN 1474-2: 2008</i>	EN	2008
	<i>BS EN 1160 1997</i>	BS EN	1997
	<i>UNI EN ISO 23251:2008</i>	UNI EN ISO	2008
	<i>UNI EN ISO 28460:2011</i>	UNI EN ISO	2011
	<i>UNI EN 1160:1998</i>	UNI EN	1998
	<i>UNI EN 1473:2007</i>	UNI EN	2007
	<i>UNI EN 1474-1:2009</i>	UNI EN	2009
	<i>UNI EN 1474-2:2009</i>	UNI EN	2009
	<i>UNI EN 1474-3:2009</i>	UNI EN	2009
	<i>UNI EN 12065:1999</i>	UNI EN	1999
	<i>UNI EN 12066:1999</i>	UNI EN	1999
	<i>UNI EN 12308:2001</i>	UNI EN	2001
	<i>UNI EN 12567:2002</i>	UNI EN	2002
	<i>UNI EN 12838:2003</i>	UNI EN	2003
	<i>UNI EN 13645:2006</i>	UNI EN	2006
<i>UNI EN 13766:2010</i>	UNI EN	2010	
<i>UNI EN 14620-1:2006</i>	UNI EN	2006	
<i>IEC60092-502:1999</i>	IEC	1999	
<b>Linee guida</b>	<i>Interim guidelines on safety for natural gas fuelled engine installations in ships</i>	IMO	1986
	<i>Esd arrangements and linked ship/shore systems for liquefied gas carriers</i>	SIGTTO	2009
	<i>Guidelines for LNG bunkering safety, simultaneous operations, and personnel training</i>	SGMF	2017
	<i>Protection against ignitions arising out of static, lightning, and stray currents</i>	API	2015
	<i>Linee guida per i sistemi di ormeggio</i>	OCIMF	2008

Source : élaboration CIELI

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

### 9.3. Méthodologie d'analyse des risques

Le rapport T2.4.1 "Rapport de classification et d'examen des risques des installations de GNL" définit également des lignes directrices importantes pour l'évaluation des externalités et des impacts environnementaux possibles causés par d'éventuels accidents et dysfonctionnements. De ce point de vue, il commence par un examen du concept de risque et illustre ensuite les différentes méthodes utilisées pour identifier et quantifier ces risques.

#### 9.3.1. Le concept de risque

En identifiant le risque comme la probabilité de survenance d'un certain événement susceptible de causer des dommages aux biens et aux personnes, il peut être quantifié, comme l'exige la gestion des risques - risk management, par le biais du produit suivant :

$$\text{Niveau de risque [R]} = \text{Fréquence [F]} * \text{Magnitude [M]}$$

#### 9.3.2. Méthodes d'évaluation

En ce qui concerne les méthodes d'évaluation des risques, elles varient en fonction du niveau de détail à atteindre dans l'évaluation elle-même et peuvent être classées en deux macro-ensembles, à savoir : les méthodes de niveau supérieur de nature déterministe et qualitative, visant à évaluer la faisabilité et le déroulement du processus d'autorisation (méthodes Consequence-Based), et les méthodes de niveau de conception de nature probabiliste et quantitative, qui comprennent toutes les analyses ponctuelles sur le système/l'installation/le site, en tenant compte également de la probabilité de défaillance/rupture/perte (méthodes metodi Risk-Based).

Si les méthodes qualitatives sont utilisées selon le domaine d'applicabilité indiqué par la norme ISO / TS18683, c'est-à-dire aux usines de soutage correspondant aux scénarios standards (installations TTS, PTS ou STS respectant certaines conditions d'utilisation, de construction et d'implantation), les méthodes quantitatives sont appliquées pour toutes les usines de soutage qui s'écartent de ces scénarios «standards», c'est-à-dire qui ne satisfont pas à toutes les exigences requises. La première catégorie comprend les méthodes qualitatives d'«Évaluation des conséquences» - QualRA, dont l'approche est basée sur l'évaluation des conséquences d'accidents hypothétiques, et d'«Évaluation des conséquences simplifiées» - SQualRA, qui est réalisée sur des scénarios codifiés et simplifiés. La deuxième catégorie, en revanche, comprend les méthodes quantitatives d'«Évaluation de type probabiliste» - QRA, basée sur les conséquences produites par une série d'accidents possibles et la probabilité que des accidents se produisent, et d'«Évaluation semi-quantitative ou hybride» - HQRA, selon laquelle, généralement, la probabilité d'occurrence est évaluée de manière plus qualitative, c'est-à-dire en utilisant des classes ou des catégories, plutôt que des nombres ou des quantifications précises.

Pour les méthodes d'évaluation qualitative des risques, les profils suivants doivent être définis comme objectifs :

- obtenir un niveau de risque compatible avec les seuils fixés et, en tout état de cause, aussi faible qu'il est raisonnablement possible de l'atteindre, en démontrant que toutes les menaces pour l'homme et l'environnement ont été analysées, évaluées, éliminées lorsque cela était possible ou atténuées lorsque cela était nécessaire ;
- définition des mesures, indications et informations permettant de classer les zones autour des infrastructures et superstructures de soutage et des "opérations" connexes



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



La norme ISO/TS 18683, qui est la référence technique pour l'élaboration d'une évaluation déterministe ou qualitative, indique les éléments minimums suivants à prendre en compte dans ce type d'évaluation :

- A. le champ d'application, c'est-à-dire la définition des limites de la batterie de l'évaluation, la familiarisation - entendue comme la prise de connaissance et de maîtrise - avec la conception et le fonctionnement de la structure de soutage
- B. HAZID, c'est-à-dire l'analyse approfondie visant à identifier les dangers et à évaluer les risques à l'aide d'une matrice des risques
- C. zone de sécurité
- D. le matériel technique, c'est-à-dire le traitement selon les normes internationales des rapports, plans, etc.

D'autre part, pour l'application des méthodes d'évaluation quantitative des risques, il est nécessaire de procéder comme suit :

- Quantifier le niveau des risques de sécurité (pour les personnes ou les choses) associés à l'exploitation d'une usine ou à des activités impliquant la manipulation de matières dangereuses ;
- vérifier que les niveaux de risque sont conformes aux critères d'acceptation des risques convenus avec les autorités ;
- définir les mesures de réduction et de gestion des risques et évaluer leur efficacité.

L'évaluation quantitative exige également que les éléments suivants soient présents :

- A. domaines d'application, c'est-à-dire la définition des limites de la batterie d'évaluation et la familiarisation avec la conception / le fonctionnement de la structure de soutage
- B. HAZID
- C. zone de sécurité
- D. matériel technique

### **9.3.3. Valeurs seuils et critères d'acceptabilité**

Dans les évaluations tant qualitatives que quantitatives, les critères et les limites permettant de comparer le niveau de risque calculé doivent être établis, de manière à permettre l'évaluation et l'approbation d'un projet donné, y compris les mesures d'atténuation et un plan de gestion. Les critères de seuil qui peuvent être utilisés pour évaluer le niveau de risque, définissant l'acceptabilité du risque lui-même, sont souvent aussi utilisés pour établir des distances de sécurité externes ou internes. Ces critères seuils ou valeurs limites doivent être limités, qu'ils aient une valeur non juridique, c'est-à-dire qu'ils constituent un objectif de conception, ou qu'ils représentent une valeur juridiquement contraignante. En général, il est possible de distinguer les types de critères suivants.

- Les valeurs génériques, c'est-à-dire un schéma de définition du niveau de risque consistant en une échelle à deux ou trois bandes, qui divise avec un critère intérieur/extérieur, et un seul niveau de risque, les risques tolérables de ceux qui sont intolérables (c'est-à-dire les activités acceptables de celles qui sont inacceptables).
- Valeurs exprimées comme la distance à laquelle le dommage est considéré comme intolérable, c'est-à-dire un système qui implique comment différents niveaux de seuil peuvent être différents d'un projet à l'autre même en tenant compte des mêmes événements générateurs.

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



- Les valeurs de référence exprimées dans les normes techniques, pour lesquelles, du point de vue de la norme ISO18683, les valeurs seuils de risque individuelles sont mises en évidence, ce qui est particulièrement utile dans le cas où une évaluation des résultats d'une méthode EQR appliquée aux scénarios dangereux sélectionnés doit être effectuée.
- Le risque individuel, qui définit la probabilité annuelle qu'un individu subisse un certain niveau de dommage à proximité d'un élément ou d'un système à la suite d'un événement de toute nature qui provient des activités de processus ou les affecte.
- Le risque social, qui fait référence à des méthodologies qui sont généralement progressives et complémentaires des approches définies ci-dessus comme "risque individuel".

#### **9.4. Caractéristiques des GNL et taxonomie des risques**

L'utilisation du GNL comme carburant alternatif pour la propulsion marine permet de répondre à de multiples exigences environnementales et économiques. Composé principalement de méthane et, de façon minoritaire, d'éthane, de propane, de butane et d'azote, le GNL subit un processus de liquéfaction pour être déposé et stocké à température cryogénique. Par conséquent, les phases de stockage et d'utilisation du GNL nécessitent des mesures d'installation et de gestion pour surmonter les risques spécifiques encourus.

Afin de procéder à l'identification et à l'évaluation ultérieure des risques associés à l'utilisation du GNL comme carburant pour la propulsion marine et au développement des infrastructures et superstructures connexes pour le soutage du GNL, le produit technique T2.4.1 explore les principaux types de risques associés à l'utilisation du GNL, en considérant également les applications spécifiques liées à son emplacement dans l'environnement marin et portuaire. À cette fin, le produit susmentionné prend tout d'abord en considération les propriétés du GNL et, par conséquent, les conditions de base qui conduisent à l'apparition des dangers et des risques associés à l'utilisation de ce carburant.

##### **9.4.1. Limites d'inflammabilité**

Alors que le GNL à l'état liquide (c'est-à-dire à la température cryogénique) ne présente pas les caractéristiques d'inflammabilité et d'explosivité, les caractéristiques du GNL à l'état gazeux sont identiques à celles du méthane pur, c'est-à-dire l'inflammabilité dans le cas d'une concentration dans l'air identique égale à une valeur comprise entre le niveau inférieur d'inflammabilité (Lower Flammability Level LFL), qui s'élève à 5 % (un pourcentage inférieur de gaz serait trop dilué pour permettre l'inflammation) et le niveau supérieur d'inflammabilité (Upper Flammability Level UFL), qui s'élève à 15 % ; En fait, une quantité de gaz plus importante entraînerait une concentration en oxygène trop faible pour entretenir la flamme.

##### **9.4.2. Comparaison GNL/GPL**

Le GNL diffère du GPL en ce que ce dernier est constitué d'un mélange de gaz liquéfiés par compression, refroidissement ou compression suivie d'un refroidissement car ils ont une température critique beaucoup plus élevée que la température ambiante. Le GNL, en revanche, a une température critique très basse, il ne peut en fait être liquéfié qu'à une température de -162°C. Par conséquent, alors que le GPL peut être stocké dans des conteneurs en acier au carbone non isolés avec des pressions maximales allant jusqu'à 30 bars, le GNL est stocké à des températures proches de -160°C à l'intérieur de conteneurs thermiquement isolés en acier spécial. En raison notamment de leurs caractéristiques physiques différentes, le GPL et le GNL diffèrent également dans leurs applications complémentaires



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



car le GNL est utilisé pour des utilisateurs beaucoup plus importants que le GPL (par exemple, dans le transport routier, le GPL est utilisé pour l'alimentation des véhicules légers alors que le GNL est principalement utilisé pour l'alimentation des véhicules lourds).

#### **9.4.3. Gaz d'évaporation (boil-off gas)**

Le Boil-Off Gas (BOG) de l'extérieur du réservoir au produit stocké à l'intérieur de celui-ci. Le BOG contient les composants inflammables les plus lourds du mélange en petites traces, c'est-à-dire ceux dont la température d'ébullition à la pression atmosphérique est beaucoup plus élevée que celle du méthane (-89°C pour l'éthane, -40°C pour le propane). En outre, la BOG a une densité plus élevée que l'air pour des températures inférieures à -113°C, en l'absence d'azote, ou à -85°C, en présence de 20% d'azote. Afin d'éviter la manifestation du BOG, des systèmes de "re-liquéfaction" sont souvent introduits dans le but de reliquéfier le gaz qui se forme inévitablement dans l'espace entre la surface de la cargaison et le toit de la citerne, qui, autrement, en l'absence de ce système, augmenterait la pression à l'intérieur de la citerne, déclenchant la soupape de sécurité et se dispersant ensuite dans l'atmosphère.

#### **9.4.4. Contact GNL**

Comme le GNL à la pression atmosphérique reste à l'état liquide jusqu'à environ -162°C, des "brûlures de gel" peuvent se produire si le GNL entre en contact avec la peau, mais aussi de graves dommages aux poumons et au système respiratoire en raison de l'inhalation de vapeur à des températures extrêmement basses. En outre, le contact entre le GNL et la coque du navire, sans parler de tous les autres matériaux, instruments ou composants non adaptés aux températures cryogéniques, peut entraîner des dommages et même la rupture de ces objets. Pour cette raison, il est nécessaire que le personnel employé dans les activités de soutage et de stockage de GNL soit équipé d'instruments et d'équipements de protection appropriés (y compris des gants, des masques, des vêtements appropriés, etc.) et que, en ce qui concerne les risques associés aux instruments et aux équipements, des systèmes de confinement des liquides soient mis en place pour séparer le réservoir de l'environnement extérieur et donc des autres machines et équipements à proximité.

#### **9.4.5. Stratification et roll-over**

Le phénomène de " rollover " se produit principalement lors des opérations de remplissage d'un réservoir de stockage de GNL car, lorsqu'il est introduit dans le réservoir de GNL à une densité différente de celle qui est déjà présente, le GNL de densité plus élevée aura tendance à se stratifier sur le fond. Cependant, le fond du réservoir commencera à augmenter sa température, ce qui entraînera non seulement une réduction de la densité présente, mais aussi une forte augmentation du taux d'évaporation, entraînant l'émission de quantités importantes de gaz. Afin de prévenir ce phénomène, il est essentiel, pendant la phase de soutage, de veiller à ce que le produit frais soit mélangé au produit déjà présent dans la cuve (par exemple au moyen d'un système de pistolets), ou d'utiliser des systèmes de remplissage au-dessus et au-dessous de la cuve, en fonction de la densité du GNL à introduire dans la cuve (si le GNL introduit a une densité inférieure à celle déjà présente dans la cuve, le système de remplissage "inférieur" doit être utilisé, sinon le système de remplissage "supérieur" doit être utilisé).

#### **9.4.6. Sloshing**

Ce phénomène se produit lorsque les réservoirs de GNL des navires ne sont pas complètement remplis, en fait, pendant la navigation et, par exemple, en présence de conditions météorologiques défavorables, le carburant dans les réservoirs frappe avec une pression élevée sur la surface et les parois du réservoir,

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

ce qui entraîne de graves dommages à la structure. Afin de limiter le phénomène d'affaissement, la technologie SPB (Self Supporting Prismatic IMO type B) a été développée, qui fournit aux réservoirs prismatiques des éléments de renforcement structurel à l'intérieur du réservoir.

#### ***9.4.7. Transition rapide de phase (Rapid Phase Transition)***

Le phénomène connu sous le nom de "transition de phase rapide" (ou Rapid Phase Transition - RPT), consiste en un changement physique de phase d'un liquide en vapeur : il se produit normalement lorsque deux liquides, de températures très différentes, entrent en contact, car le liquide à basse température (GNL), une fois en contact avec celui à plus haute température, subit une transition rapide de l'état liquide à l'état gazeux (une véritable ébullition), produisant de la vapeur à une vitesse explosive (par exemple lorsqu'une grande quantité de GNL est versée dans l'eau).

#### ***9.4.8. BLEVE (boiling liquid expanding vapour explosion)***

Le BLEVE indique l'explosion de vapeurs qui se dilatent en raison de l'ébullition d'un liquide, c'est-à-dire un type d'explosion qui se produit en conjonction avec la rupture d'un récipient sous pression. Cela peut se produire en cas de fuite rapide, si une explosion de gaz à grande vitesse avec un mouvement turbulent est générée, mais aussi en cas d'impact à partir duquel des fragments sont formés.

#### ***9.4.9. Explosion d'un nuage de vapeur (Vapor Cloud Explosion - VCE)***

L'explosion de nuage de vapeur désigne le phénomène par lequel une grande quantité de vapeur de GNL est enflammée dans un environnement confiné (ou presque confiné), provoquant une explosion. Lorsque le GNL commence à se réchauffer au contact de l'air (plus léger et à une température plus élevée que le GNL), il se mélange à l'air et commence à se disperser, créant une sorte de nuage de vapeur qui, en cas de contact avec une source d'inflammation et en présence d'une concentration de GNL dans la plage d'inflammabilité, peut également être sujet à une explosion.

#### ***9.4.10. Jet fire, pool fire e flash fire***

Le phénomène connu sous le nom de "jet fire" ou "spray fire" consiste en la formation d'un jet de feu avec une diffusion assez violente générée par l'allumage d'un mélange composé d'un agent de combustion et d'un combustible gazeux libéré en continu, au moyen d'une force importante, dans une ou plusieurs directions. Dans ce cas, le gaz est enflammé immédiatement en aval de la perte de GNL. Au contraire, en cas d'allumage retardé, il se produit un phénomène de feu flash qui, en remontant à l'origine, pourrait conduire à un phénomène de feu de jet. En fait, le terme "feu flash" désigne le phénomène de combustion "rapide" non explosive provenant de la formation d'un nuage de gaz dans un environnement où la concentration de GNL dépasse la limite inférieure d'inflammabilité.

D'autre part, le terme "pool fire" fait référence au phénomène dit de "feu de piscine" (peu probable en raison de la vaporisation rapide du GNL qui est rejeté) puisqu'il peut se produire en présence d'une quantité de GNL présente sur une surface solide horizontale plane ou à la surface de l'eau suite à une fuite. Dans ce contexte, le liquide constituant ce bassin commence à s'évaporer en se mélangeant à l'air ambiant et, si la concentration minimale pour la combustion est atteinte en présence d'une source d'inflammation, le gaz commence à brûler, générant ainsi de la chaleur.

#### ***9.4.11. Asphyxie***

Bien que le gaz naturel ne soit pas toxique ou cancérigène, il peut être étouffant, car il contribue à réduire le pourcentage d'oxygène dans l'air et le remplace directement.



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



#### **9.4.12. Terrorisme**

La probabilité d'une attaque terroriste sur un terminal GNL est liée à un incendie, par opposition à une explosion. Afin de limiter le risque de dommages aux personnes, aux installations et aux équipements, il est essentiel de définir des distances de sécurité spécifiques et des procédures d'autorisation spécifiques pour l'accès aux zones les plus sensibles et les plus critiques. Les inspections, les patrouilles, les plans de sécurité en cas de violation de la sécurité et les systèmes de communication d'urgence constituent d'autres contre-mesures visant à prévenir les attaques terroristes ou d'autres actes violents.

#### **9.4.13. Tremblements de terre**

En outre, il est possible qu'en cas de tremblement de terre, les structures des centrales soient gravement endommagées, ce qui pourrait être suivi d'accidents majeurs. En fait, une évaluation adéquate des risques associés à une éventuelle activité sismique dans la zone où se trouve l'usine de soutirage et de stockage de GNL est nécessaire pendant la phase de conception.

#### **9.4.14. Pertes de GNL**

Le produit T2.4.1 montre que les principaux risques associés au soutage et au stockage de GNL dans l'environnement portuaire maritime sont dus à l'apparition de fuites de liquides cryogéniques, à l'origine de différents scénarios d'incidents possibles. Les pertes se produisent normalement lors des opérations de soutage, mais elles peuvent aussi résulter d'une erreur humaine, d'une défaillance technique ou dans d'autres contextes tels qu'un trafic maritime excessif dans des conditions météorologiques extrêmes ou lors de la navigation à proximité d'une zone portuaire.

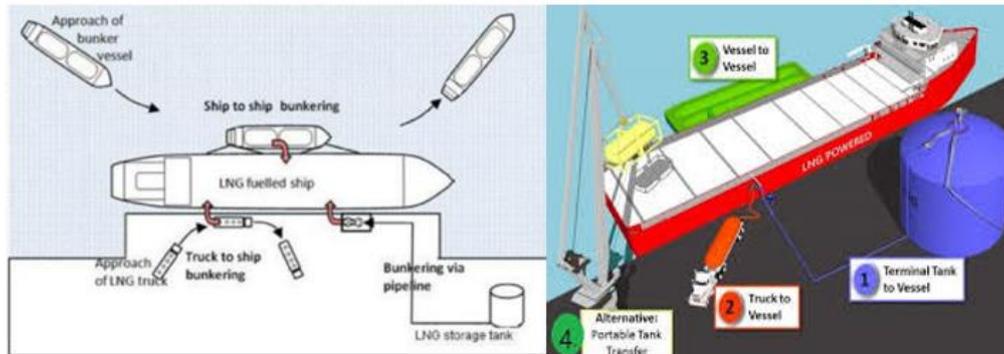
### **9.5. Systèmes de transfert de gaz naturel liquéfié**

Le produit T2.4.1 fournit également une analyse détaillée des spécificités de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement en GNL, en identifiant tous les différents types de moyens de transport utilisés tout au long de la chaîne d'approvisionnement. En raison des caractéristiques techniques du GNL et des risques associés, il est possible d'identifier quatre configurations principales pour le soutage du GNL dans l'environnement maritime portuaire, résumées dans la liste ci-dessous et dans la Figure 52 :

- Configuration Ship to Ship (STS),
- Configuration Truck to Ship (TTS),
- Configuration Via Pipeline o Terminal /Port To Ship(TPS),
- Configuration Mobile Fuel Tanks.



Figure 52. Configurations potentielles de soutage de GNL



Source: DNV, 2015 (“LNG Bunkering. Regulatory Framework and LNG bunker procedures”).

La configuration technologique de Ship To Ship (STS) prévoit le transfert de GNL d'une barge d'approvisionnement ou d'un navire-citerne/ravitailleur à un navire propulsé par du GNL. Parmi les principaux avantages de cette option technologique, la possibilité d'opérer en mer même sans avoir à entrer dans le port, si les conditions météorologiques et le mouvement des vagues le permettent, et la possibilité de déplacer de grands volumes de produits en un temps rapide, jouent un rôle important.

La configuration technologique Truck To Ship (TTS), quant à elle, implique le transfert de GNL d'un camion-citerne ou d'un pétrolier à un navire propulsé par le GNL et amarré à la jetée ou au quai au moyen d'une tuyauterie flexible cryogénique. Parmi les avantages de la configuration technologique de type TTS figurent la grande flexibilité géographique et le faible investissement requis pour la mise en œuvre. Au contraire, en raison des petites quantités de produit qui peuvent être transférées grâce à cette configuration, elle est particulièrement adaptée à l'approvisionnement des navires équipés de petites citernes, tels que les remorqueurs, les bateaux de pêche ou les petits bateaux.

La configuration technologique du type Shore/Pipeline To Ship (PTS) prévoit le transfert de GNL d'un réservoir de stockage fixe à terre à un navire propulsé par le GNL par l'utilisation d'une ligne cryogénique équipée de bras de chargement caractérisés par une extrémité flexible (Pipeline) ou par l'utilisation de pipelines appartenant au navire amarré (Shore). Par rapport à la solution TTS, la configuration Pipeline To Ship assure un débit plus élevé, adapté à l'approvisionnement de grands navires.

La configuration technologique qui prévoit l'utilisation de réservoirs mobiles ou de conteneurs ISO cryogéniques permet, d'autre part, l'utilisation de tels réservoirs comme dépôts de carburant GNL, en fait ils peuvent être facilement chargés sur des navires, au moyen de grues à conteneurs dédiées, ou sur des camions en mode Ro-Ro.

## 9.6. La gestion des risques dans le secteur portuaire

En analysant la gestion des risques liés au processus de soutage et de stockage du GNL, les domaines d'application de la gestion des risques (le contexte réglementaire, l'analyse des menaces, l'historique des événements négatifs et la formation) doivent être détaillés en tenant compte des spécificités techniques et de localisation ainsi que des spécificités opérationnelles et de gestion qui caractérisent les applications portuaires. Étant donné que l'activité de soutage représente une activité mondiale, les environnements réglementaires qu'elle implique doivent être alignés et s'interfacier les uns avec les autres. En fait, le



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



développement de réglementations internationales, comme le code IGF, adopté en juin 2015, est essentiel pour établir des exigences basées sur l'analyse des risques.

La sécurité de l'utilisation du GNL dans l'environnement maritime-portuaire, en particulier, dépend directement de la compréhension des aspects et des situations qui représentent une menace pendant l'exploitation des systèmes de soutage. En effet, grâce à la connaissance et à l'analyse des événements, il est possible de parvenir à la valorisation d'un risque et par conséquent à la définition de méthodes appropriées pour le gérer. Le signalement des incidents ou des défaillances dans l'utilisation du soutage de GNL (et de la chaîne d'approvisionnement) est utile pour apprendre et améliorer les procédures, rendre les calculs de prévision plus efficaces et plus précis, améliorer la conception des équipements et des systèmes et développer de nouvelles approches d'évaluation. Comme l'élément humain représente un facteur central pour effectuer toutes les opérations de soutage de GNL en toute sécurité, il est nécessaire que les différents acteurs concernés du processus contribuent à la préparation des procédures et réglementations nécessaires, depuis les procédures d'urgence jusqu'à la maintenance à bord, du fonctionnement des machines à la communication entre les opérateurs, etc. Pour cette raison, il est essentiel que l'équipage à bord et le personnel au sol non seulement aient toutes les compétences nécessaires mais soient également bien formés pour assurer à la fois l'opération et le système de gestion des risques.

#### **9.6.1. La définition des zones**

En matière de soutage de GNL, la définition des zones de contrôle est une question importante car elles contribuent à fournir des garanties de sécurité pendant l'exploitation. Au niveau réglementaire et technique, les zones de contrôle sont définies dans les normes ISO/TS 18683 et EN ISO 20519 et prévoient 3 niveaux de risque décroissant, les zones dangereuses (*hazardous zone*), la zone de sécurité (*safety zone*) et la zone de surveillance et de sécurité (*monitoring and security area*), auxquels s'ajoutent, comme récemment établi par les lignes directrices SGMF, v2, 2017, deux autres zones externes appelées zone marine et zone externe.

Les zones de contrôle sont décrites ci-dessous et représentées graphiquement dans la Figure 53.

La zone de danger est l'espace tridimensionnel dans lequel une atmosphère inflammable peut exister à tout moment. Les zones dangereuses, qui sont une caractéristique de l'installation car elles décrivent un volume dans lequel une atmosphère "explosive/inflammable" sera présente (en un lieu donné avec une certaine fréquence d'occurrence), n'ont pas de distances de référence et nécessitent un calcul spécifique dans la pratique.

La zone de sécurité, qui n'existe que pendant le fonctionnement du système de soutage du GNL, est constituée par la zone tridimensionnelle autour du système de transfert du GNL déterminée par le résultat d'une fuite, d'une urgence lors du déchargement du GNL ou du retour de la vapeur. Les objectifs liés à la mise en œuvre d'une zone sûre peuvent être définis comme suit:

- le contrôle des sources d'inflammation afin de réduire la probabilité d'inflammation d'un nuage de gaz inflammable dispersé après un rejet accidentel de GNL ou de gaz naturel lors du ravitaillement
- la limitation de l'exposition du personnel non essentiel, pendant la phase de soutage, en cas d'effets potentiellement dangereux (par exemple, un incendie)



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



- évaluation des infrastructures locales pour l'identification des éventuels points de piégeage du gaz, où la formation d'atmosphères explosives est plus susceptible de se produire à la suite d'un rejet accidentel de GNL.

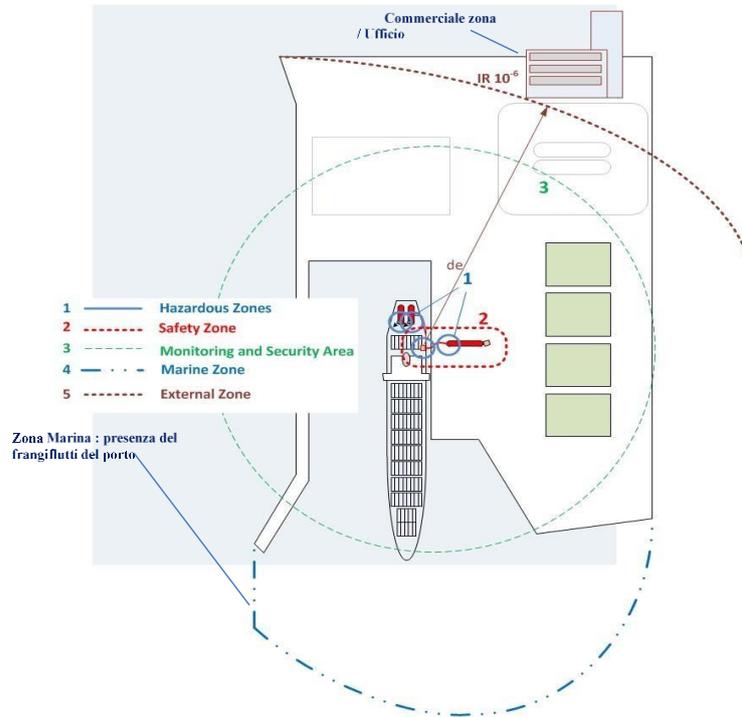
Pour le calcul de l'étendue de ces zones, il convient de se référer aux normes ISO/TS 18683 et ISO 20519 qui renvoient les méthodes de calcul à deux approches possibles pour la détermination des différentes zones, similaires à l'évaluation des risques, à savoir l'approche déterministe basée sur le calcul de la distance par rapport à la condition limite d'inflammabilité inférieure en cas de rejet de GNL le plus crédible et l'approche basée sur les risques ou probabiliste.

Contrairement aux zones de danger et aux zones de sécurité, qui sont déterminées par la probabilité de la présence d'une atmosphère explosive dans les zones de contrôle respectives et la nécessité d'atténuer le risque d'inflammation et d'escalade des accidents, la zone de surveillance et de sécurité tient compte des facteurs externes car elle est constituée de la zone entourant la zone où le transfert de GNL a lieu, qui doit être surveillée par mesure de précaution pour éviter toute interférence avec l'opération de transfert de GNL. Les objectifs de la zone de surveillance et de contrôle sont donc :

- définition d'une zone dans laquelle activer la surveillance d'autres activités et opérations à proximité du site de soutage de GNL,
- l'identification des risques potentiels associés à l'opération de soutage du GNL et découlant des activités en cours ou prévues dans la zone portuaire,
- définition d'une zone où des arrangements spéciaux sont possibles, pour une période limitée, juste avant les opérations de soutage de GNL jusqu'à peu de temps après (du pré-soutage au post-soutage).

La zone maritime est suffisamment étendue pour empêcher d'autres navires de heurter le navire pendant les opérations de transfert de GNL, tandis que la zone extérieure est constituée par la distance par rapport à un niveau de risque défini, y compris les endroits où la population et le personnel non formés au GNL peuvent normalement être présents pendant les activités de soutage.

Figure 53. Zones de contrôle - Zones dangereuses, de sécurité, de surveillance, marines et extérieures.



Source: Adattato da ISO / TS 18683 + LG SGMF

### 9.7. Application préliminaire dans la zone portuaire

Les travaux développés au sein du produit T2.4.1 dans le cadre de l'évaluation des risques des différentes solutions technologiques de soutage de GNL consistent en l'identification des risques, suivie de la phase de quantification de ceux-ci et de la phase finale d'évaluation de l'acceptabilité risque.

En relation avec les différentes configurations de soutage de GNL, tous les dangers liés à l'activité en question et les facteurs de risque associés sont systématiquement identifiés (Tableau 65).

Tableau 65 Identification des risques par solution technologique

Technologie de réalisation	Risque identifié
SHIP TO SHIP:	Conditions de mer défavorables (collision); Mouvement brusque du navire pouvant entraîner une tension excessive sur le tuyau d'avitaillement (rupture du tuyau); Perte de GNL pendant les phases de chargement / déchargement; Augmentation du trafic maritime; Rupture de réservoir cryogénique; Allumage d'un incendie ou explosion de fuite de GNL accidentellement.
TRUCK TO SHIP:	Rupture de réservoir cryogénique; Allumage d'un incendie ou explosion de GNL déversé accidentellement; Effet domino; Augmentation du trafic routier; Vulnérabilité aux attaques terroristes.
PORT TO SHIP VIA PIPELINE	Rupture de réservoir cryogénique; Tuyaux cassés;

Technologie de réalisation	Risque identifié
	Allumage d'un incendie ou explosion de GNL déversé accidentellement; Effet domino; Vulnérabilité aux attaques terroristes

Source: élaboration de TECNOCREO

Ces risques ont ensuite été placés dans des macro-zones distinctes afin de pouvoir comparer les résultats de l'évaluation préliminaire entre eux: environnemental, lié à l'installation, sociopolitique, activités interférentes internes, accidentelles externes (Tableau 66).

Afin d'estimer le risque pour chaque catégorie de danger identifiée, ce rapport a produit une classification de la fréquence d'occurrence et une classification des dommages (Tableau 67 et Tableau 68).

Tableau 66. Répartition des risques majeurs en macro-zones

TYPE	ENVIRONNEMENTAL	LIÉ À L'INSTALLATION	SOCIOPOLITIQUE	ACTIVITÉS INTERFÉRENTES	ACCIDENTS ALL'EXTÉRIEUR
<b>STS</b>	Conditions de mer défavorables (collision) Tremblements de terre Les raz-de-marée	Rupture d'un réservoir cryogénique Incendie ou explosion du GNL déversé Dysfonctionnement des systèmes d'urgence Perte de GNL pendant les phases de chargement/déchargement	Vulnérabilité aux attaques terroristes	Augmentation du trafic maritime	Erreurs de manoeuvre des autres navires présents
<b>TTS</b>	L'effet domino Tremblements de terre Les raz-de-marée	Rupture d'un réservoir cryogénique Incendie ou explosion du GNL déversé Dysfonctionnement des systèmes d'urgence Perte de GNL pendant les phases de chargement/déchargement	Vulnérabilité aux attaques terroristes	Présence d'activités logistiques dans la zone portuaire (Chargement et déchargement des marchandises)	Possibilité que des véhicules hors de contrôle entrent en collision avec le système
<b>PTS</b>	L'effet domino Tremblements de terre Les raz-de-marée	Rupture d'un réservoir cryogénique Allumage ou explosion accidentels de GNL déversés Interférence extérieure d'usage Perte de GNL pendant les phases de chargement/déchargement	Vulnérabilité aux attaques terroristes	Collisions avec des structures fixes de moyens de transport dédiés à la logistique	Possibilité de collision entre des véhicules hors de contrôle et le système Présence de sociétés ERIR à proximité des usines

Source: élaboration de TECNOCREO



Tableau 67. Classification des fréquences d'occurrence

FREQUENCE F [Scenari/anno]	DÉFINITION	CLASSE	VALEUR
<b>F &gt;= 1.0 E-03</b>	Scénario non négligeable	F1	5
<b>1.0 E-04 &lt;= F &lt; 1.0 E-03</b>	Scénario improbable	F2	4
<b>1.0 E-05 &lt;= F &lt; 1.0 E-04</b>	Scénario rare	F3	3
<b>1.0 E-05 &lt;= F &lt; 1.0 E-06</b>	Scénario très rare	F4	2
<b>F &lt; 1.0 E-06</b>	Scénario extrêmement rare	F5	1

Source: elaborazione di TECNOCREO da dati “General Guidance on Emergency Planning within the CIMAH regulation for chlorine installation CIA” – “Capitolo 2 dell'Allegato III al D.P.C.M. 31/03/89” – Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 9 maggio 2001, “Requisiti min”

Tableau 68. Classification des dommages

DÉFINITION CLASSE	CLASSE DE DOMMAGES	VALEUR
Létalité élevée près de la libération (5 ÷ 15 m), début de la létalité dans les limites de l'installation.	<b>A</b>	<b>1</b>
Létalité élevée dans les limites de l'installation, début de létalité dans les limites de la propriété, blessures irréversibles en dehors de la propriété, mais dans les limites du port.	<b>B</b>	<b>2</b>
Létalité élevée à l'intérieur des limites de la propriété, début de létalité près des bureaux et des salles de contrôle non blindés, effets domino sur les grands réservoirs et les structures élevées, blessures irréversibles en dehors des limites du port.	<b>C</b>	<b>3</b>
Létalité élevée dans les zones industrielles en dehors de la propriété, début de létalité en dehors des limites du port.	<b>D</b>	<b>4</b>
Létalité élevée dans les zones non industrielles situées en dehors des limites du port, événements donnant lieu à des surpressions dépassant la pression nominale dans les salles de contrôle blindées, effets domino sur les grands réservoirs de stockage de produits liquéfiés, début de létalité sur les systèmes de protection (pompes à incendie), début de létalité dans les zones habitées	<b>E</b>	<b>5</b>

Source : élaboration du TENCOCREO sur la référence réglementaire Tab.2 Décret ministériel 9/05/2001

En conséquence, le produit T2.4.1 représente au moyen de "diagrammes de Kivat" ou de "diggrammes radar" les résultats obtenus afin de montrer la pertinence d'un certain phénomène qui s'éloigne d'autant plus du centre du diagramme (évidemment sur une base théorique et à des fins purement "illustratives").

Pour chaque configuration de technologie de soutage de GNL, adoptant nécessairement une approche "théorique" visant à proposer une méthodologie à appliquer à chaque cas empirique pertinent, une quantification du risque est réalisée pour chaque macro-zone et un "diagramme radar" capable d'identifier la sensibilité plus ou moins grande du système par rapport à une macro-zone de risque particulière. Vous trouverez ci-dessous les diagrammes radar se rapportant aux différentes options technologiques examinées : STS, TTS et PTS (Figure 54).

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 “Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire”

Figure 54. Diagramme radar faisant référence au soutage STS (orange), TTS (vert) et PTS (bleu)

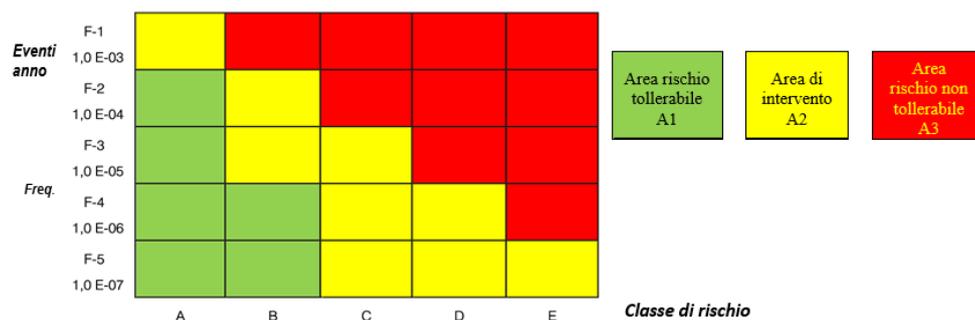


Source: élaboration de TECNOCREO

Chaque scénario fortuit identifié a été classé par une paire de valeurs (fréquence et conséquences) et par conséquent placé dans l'une des trois régions de la matrice d'acceptation des risques (A1, A2 et A3). Par rapport à son positionnement, il a alors été possible de classer le risque comme tolérable, ou de définir un plan d'amélioration pour réduire le niveau de risque identifié. La combinaison de la fréquence d'occurrence prévue du scénario et de la gravité des conséquences des scénarios eux-mêmes a ensuite été évaluée à l'aide d'une matrice des risques, dans laquelle les trois domaines de risque ont été pris en compte :

- A1 zone de risque tolérable, c'est-à-dire lorsque le risque est considéré comme étant déjà suffisamment atténué et donc gérable sans autre intervention
- A2 zone d'intervention, c'est-à-dire lorsqu'il est nécessaire de prévoir une intervention avec des mesures de prévention ou d'atténuation selon le concept ALARP/ALARA
- A3 zone de risque non tolérable, c'est-à-dire lorsqu'il est nécessaire de prévoir des mesures de prévention et de protection adéquates pour l'atténuation des risques et la surveillance de suivi ainsi que la vérification de l'efficacité des mesures correctives également sur des installations similaires.

Figure 55 Matrice d'acceptabilité des risques utilisée



Source: élaboration de TECNOCREO

Tableau 69. Comparaison des risques pour chaque macro-zone

ID:RISK	Zone du risque	SHIP TO SHIP	TRUCK TO SHIP	PORT TO SHIP
R1	ENVIRONNEMENTAL	10 (Red)	5 (Yellow)	5 (Yellow)
R2	ENVIRONNEMENTAL	10 (Red)	6 (Yellow)	10 (Red)
R3	INSTALLATION	6 (Yellow)	6 (Yellow)	6 (Yellow)
R4	INSTALLATION	6 (Yellow)	6 (Yellow)	4 (Green)
R5	INSTALLATION	6 (Yellow)	6 (Yellow)	4 (Green)
R6	INSTALLATION	8 (Yellow)	8 (Yellow)	6 (Yellow)
R7	SOCIO-POLITIQUE	5 (Yellow)	5 (Yellow)	10 (Red)
R8	INTERFÉRENCES	6 (Yellow)	12 (Red)	9 (Yellow)
R9	ACCIDENTEL EXTERNE	9 (Yellow)	6 (Yellow)	8 (Yellow)

Source: élaboration de TECNOCREO



Tableau 70. Système d'évaluation des risques à appliquer dans le bunker

N.	Phase	Technique	Documents de base
1	<b>Identification/sélection de l'événement accidentel</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Analyse d'opérabilité (HAZOP)</li> <li>Méthode d'indexation pour l'identification des zones critiques</li> <li>Analyse historique interne et externe</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Diagrammes de processus, données de conception et de fonctionnement</li> <li>Diagrammes de processus, données de conception et de fonctionnement</li> <li>Collecte d'informations à partir d'événements historiques au sein de l'usine et de bases de données internationales</li> </ol>
2	<b>Fréquence des événements accidentels</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Arbre de défaillances (événement de processus)</li> <li>Libération de la ligne/équipement (événement aléatoire)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Taux de défaillance des systèmes d'instrumentation et de traitement</li> <li>Cumul des pertes aléatoires</li> </ol>
3	<b>Termes sources de l'accident</b>	Définition des conditions d'exploitation (composition, pression et température) régissant le taux de libération de la substance dangereuse	Diagrammes de processus, données sur les installations
4	<b>Fréquence des scénarios alternatives accidentelles</b>	Arbre des événements	Probabilité d'inflammation de la substance dangereuse libérée dans l'atmosphère
5	<b>Conséquence des scénarios accidentels</b>	Modélisation physique des conséquences des scénarios d'accident possibles (incendie, explosion, dispersion toxique)	Conditions météorologiques dans la région, disponibilité de systèmes de détection des substances dangereuses dans l'air, présence de systèmes d'atténuation et de confinement
6	<b>L'effet domino (Domino interne et Domino Externe)</b>	<p>Estimation de la propagation possible des effets d'un scénario d'incendie (fréquences et conséquences) par rapport à :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>installations / matériels/ personnel à l'intérieur de l'usine.</li> <li>installations d/ matériels/ personnel sur des éléments territoriaux voisins à l'extérieur de l'usine.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Conception du système, analyse des systèmes de protection active et passive contre l'incendie, cartographie des scénarios d'incidents et de leur durée</li> <li>Plan de l'établissement avec indication des éléments territoriaux particulièrement vulnérables et/ou sensibles, cartographie des scénarios accidentels et de leur durée.</li> </ol>
7	<b>Scénarios environnementaux</b>	Estimation des conséquences possibles du rejet de substances écotoxiques	Caractéristiques du sol et du sous-sol
8	<b>Risques naturels</b>	Évaluation des risques liés à des événements naturels particuliers (par exemple, un tremblement de terre, une tornade, etc.)	Analyses historiques liées au domaine et bibliographie spécialisée sur le sujet.
9	<b>Présentation des risques</b>	Combinaison de la fréquence et des conséquences de chaque accident.	Critères d'acceptabilité des risques.

Source: élaboration de TECNOCREO



**Interreg**



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



En raison de l'analyse des risques effectuée, il est également nécessaire d'identifier d'autres aspects à prendre en compte lors de l'évaluation de l'installation de systèmes de soutage de GNL dans les ports de la zone cible. Des caractéristiques telles que la proximité des voies publiques, les activités commerciales et résidentielles et la présence d'autres navires pouvant engager la zone de sécurité distinguent notamment toutes les zones portuaires de la haute mer Tyrrhénienne et de la mer de Ligurie mais aussi les réalités corses et sardes. Par conséquent, afin de répondre aux besoins en question, il est nécessaire d'intervenir pour éviter les dangers. Par exemple, lorsque la zone de sécurité est traversée par des voies de communication qui ne peuvent être fermées à la circulation pendant de longues périodes, la solution consiste à créer des carrefours à feux spécifiques. D'autre part, en cas de proximité des activités commerciales et résidentielles par rapport à la station de soutage de GNL, les opérations de ravitaillement doivent de préférence avoir lieu pendant les périodes où les activités sont fermées ou aussi loin que possible des heures de pointe et du trafic maximum. En outre, en présence d'autres navires dans la zone de sécurité, soit parce qu'ils la traversent, soit parce qu'ils se ravitaillent en carburant, il convient d'accélérer la traversée de la zone de sécurité de la manière la plus sûre possible ou de créer une zone d'exclusion marine.

En conclusion, l'analyse des risques objet de ce produit T2.4.1 "Rapport de classification et d'examen des risques des installations de GNL" est sans aucun doute un élément de protection prioritaire pour l'ensemble de la communauté concernée par le projet individuel de soutage de GNL, mais représente également un soutien important pour parvenir à l'acceptabilité sociale.

## 10. FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.4.2 " BASE DE DONNÉES DES ACCIDENTS ET DES RISQUES"

### 10.1. Objectif du produit T2.4.2

Le produit T2.4.2 "Base de données des accidents et des risques" inclus dans le projet TDI RETE-GNL dans le cadre du programme maritime Interreg Italie-France 2014-2020 est un document dans lequel sont analysés les principaux événements à risque et/ou accidents effectivement survenus au cours des années, en particulier en ce qui concerne la gestion des infrastructures GNL ou des véhicules alimentés au GNL. L'activité de recherche proposée au sein de ce produit permet également d'apprécier la comparaison et les différences qui en découlent en ce qui concerne la gestion d'autres substances considérées comme dangereuses, telles que le GPL. Le lecteur pourra ainsi approfondir ses connaissances sur le GNL et les risques liés à sa gestion dans l'environnement portuaire maritime, notamment par une analyse des données historiques.

### 10.2. Classification des différents types de risques et dangers

Le produit T2.4.2. utilise la classification des risques liés à la gestion du GNL proposée par la Chambre de Commerce et d'Industrie du VAR (CCIVAR) et ensuite intégrée à celle développée par le sujet P1/CF (UNIGE-CIELI), avec le soutien du consultant externe TECNOCREO SRL, et utilisée pour étiqueter les événements examinés dans la base de données à laquelle se réfère le produit T2.4.2. En ce sens, une première classification des risques et dangers potentiellement liés au GNL est proposée, en 3 macro-typologies (dangers liés aux caractéristiques physico-chimiques du produit, risques opérationnels et risques environnementaux) puis il est fait référence à la classification détaillée conformément à la documentation du projet.

Dans l'analyse des dangers associés au produit, les caractéristiques de la composition moléculaire du GNL et les processus que subissent ses composants pendant la transition entre les phases gazeuse et liquide sont d'abord brièvement décrits ; le GNL a également des propriétés physiques différentes selon son origine et son lieu d'extraction.

En poursuivant l'analyse des dangers associés au produit, il convient de noter que le GNL est un liquide inflammable, tout comme ses vapeurs, et que les facteurs suivants sont donc analysés :

- **Plage d'inflammabilité** : dans un mélange méthane/air, il n'est susceptible de s'enflammer que si sa concentration se situe entre 5 et 15 % environ ; ces valeurs sont fiables si le contexte prévoit des conditions environnementales, en cas de changement de température et de pression, les données peuvent varier.
- **Sensibilité à l'inflammation** : Le document montre que le GNL, comparé à d'autres substances, est nettement moins sensible à l'inflammation, raison pour laquelle il est considéré comme "faible" en termes d'inflammabilité et "moyen" en termes de réactivité. En général, plus la température du mélange méthane/air est basse, plus l'énergie nécessaire pour enflammer le mélange lui-même est importante.
- **Énergie libérée et taux de combustion** : En ce qui concerne le phénomène d'explosion, le méthane est classé comme un gaz "de faible réactivité" et le taux de combustion est inférieur à celui de gaz tels que le propane ou l'hydrogène.

Le produit T2.4.2 explore ensuite les spécificités des risques/dangers qui proviennent des "processus", c'est-à-dire qui sont liés à la gestion opérationnelle du GNL pour les activités de soutage et de stockage dans l'environnement portuaire. Dans ce sens, la division en dangers liés à la phase de transfert et en



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



dangers liés à la phase de stockage du gaz est importante. Il existe également des spécificités liées à l'état pressurisé ou non pressurisé qui caractérise le GNL dans la gestion de ces opérations.

En ce qui concerne les risques associés à la phase de transfert, le cas de surremplissage de l'unité de réception est pris en compte, ce qui peut conduire à une série de scénarios allant de la présence de légers déversements de liquide sans conséquences à des dommages (parfois des ruptures) à l'unité de réception. En outre, les opérations de soutage impliquent au moins une unité mobile et cela comporte le risque d'une éventuelle rupture du système de connexion, avec pour conséquence le déversement du liquide dans la mer ou sur terre : le contact avec l'eau et un changement soudain de température peuvent provoquer plusieurs dangers et accidents potentiels.

Les dangers liés au stockage du GNL sous forme pressurisée proviennent du fait qu'il est stocké à certaines températures et à une certaine pression. En cas de perte de confinement, différents scénarios peuvent se présenter selon que la perte est plus abrupte ou plus progressive. Dans le cas d'une inflammation concomitante, les effets de pression associés à une perte de confinement pourraient très rapidement étendre les flammes.

Les dangers liés au stockage du GNL sous forme non pressurisée peuvent être attribués à des événements impliquant un choc thermique associé à une perte de confinement ou à un écoulement incontrôlé, où le gaz passe d'une température d'environ -160°C à des températures plus proches de celles du milieu environnant. Ces transferts de chaleur intenses peuvent donner lieu à divers phénomènes qui affaiblissent le métal et les structures dans lesquelles le GNL est contenu, surtout s'ils agissent sur de grandes surfaces comme la coque d'un navire, provoquant ainsi d'éventuelles pertes et fuites.

Enfin, la classification des dangers inclut les dangers liés aux facteurs environnementaux. Ils se subdivisent en dangers liés aux conditions naturelles tels que les tremblements de terre, la foudre ou les inondations ; ces phénomènes doivent être inclus dans une analyse des risques et doivent être accompagnés de mesures de prévention spécifiques en cas de survenance de tels événements. Les mesures de prévention concernent principalement le dimensionnement de l'installation et son emplacement, en tenant compte des réglementations nationales et internationales.

D'autres dangers liés aux facteurs environnementaux sont ceux liés à la présence d'activités anthropiques à proximité des installations et des sites où les opérations de relocalisation ont lieu. Ces activités comprennent les transports et les activités industrielles, qui ont des implications notamment au niveau de la localisation, afin d'éviter les accidents liés à la présence de ces activités ou de contenir les effets d'un accident sans qu'il ne se propage à d'autres sites, créant ainsi un "effet domino".

### **10.3. Classification des risques adoptée dans la base de données et autres profils méthodologiques**

Le paragraphe 3 du produit T2.4.2 décrit tous les profils méthodologiques relatifs aux 17 variables qui constituent le cadre conceptuel sur lequel repose la base de données. Chaque variable incluse dans la base de données est dûment décrite et une brève description de sa catégorisation est expliquée.

- ✓ **Date de l'événement (année)** : année au cours de laquelle le risque/accident s'est produit.
- ✓ **Macro Type d'événement (risque/accident)** : Type d'événement, classé soit comme un risque, si aucun dommage aux biens ou aux tiers n'est survenu, soit comme un accident, si des dommages aux biens ou aux tiers sont survenus.
- ✓ **Pays** : pays où le risque ou l'accident s'est produit.
- ✓ **Port / navire / terminal d'approvisionnement** : nom du port, du navire ou de l'infrastructure impliqué dans le risque/accident.

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



Interreg



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



- ✓ **Lieu** : coordonnées géographiques, latitude et longitude, où l'accident s'est produit.
- ✓ **Navire GNL/Typologie de l'installation** : nom du navire ou de l'installation impliqué dans le risque/incident.
- ✓ **Type d'installation** : type de bien/infrastructure soumis au risque/accident (dépôt, navire, terminal, pipeline, usine de liquéfaction, usine d'exportation, laboratoire, navire, terminal).
- ✓ **Degré de risque/accident** : degré de risque de l'événement, faible-haut-moyen, dépendant principalement du type de risque/accident chimique survenu, mais aussi du nombre de victimes, de blessés et de l'ampleur des dégâts matériels.
- ✓ **Risque opérationnel/accident** : phase de production au cours de laquelle le risque survient (en mer, chargement/déchargement, terminal, stockage, amarrage, dans le port, dépôt de GNL, construction d'une infrastructure GNL).
- ✓ **Risque/accident chimique** : type de risque/accident chimique survenu ; 11 types de risques/accidents chimiques mis en évidence (voir par. 3).
- ✓ **Description de l'événement** : brève description de l'événement dans lequel les principaux faits sont traités, y compris le lieu, les causes, le risque chimique et opérationnel, les implications.
- ✓ **Causes** : cause du risque/accident (collision, erreur humaine, événement naturel, panne d'équipement (navire/terminal/dépôt), échouement).
- ✓ **Implications/conséquences** : gravité du risque/accident, classée sur une échelle de 1 à 5 selon qu'il s'agit d'un risque ou d'un accident et, dans ce dernier cas, selon qu'il y a eu ou non des dommages matériels, des blessures ou des pertes humaines.
- ✓ **Nombre de victimes** : nombre de personnes impliquées dans l'accident.
- ✓ **Nombre de blessés** : nombre de personnes blessées impliquées dans l'accident.
- ✓ **Dommages aux installations** : variable qui peut prendre une valeur "oui" ou "non" selon que des dommages matériels sont survenus ou non.
- ✓ **Rejet/déversement de GNL** : variable qui peut prendre une valeur "oui" ou "non" selon que le rejet ou le déversement de GNL s'est produit ou non.

En ce qui concerne la "Base de données sur les accidents et les risques", la catégorisation des risques déjà utilisée dans le produit T.2.4.1. proposé par le CF conjointement avec le cabinet de conseil externe "Tecnocreo SRL" et évalué par l'ensemble du partenariat a été retenue. La classification ci-dessus comprend :

- **Gaz d'évaporation (boil-off gas)**: des solutions techniques pour la récupération du BOG (Boil-Off Gas) sont adoptées afin d'éviter l'émission de gaz naturel pendant les procédures de transfert normales ou en cas d'événements exceptionnels. Le BOG est produit par l'évaporation du gaz naturel lorsque celui-ci est soumis aux effets du transfert de chaleur de l'extérieur ; de petites traces de composants inflammables plus lourds sont présentes dans le BOG que dans le mélange.
- **Contact avec le GNL**: Le GNL, à la pression atmosphérique, reste à l'état liquide jusqu'à -162°C ; par conséquent, en tant que liquide cryogénique, il peut causer ce qu'on appelle des "brûlures par gel" et d'autres effets nocifs sur la santé humaine en cas d'exposition et de contact avec le corps. En outre, le contact entre le GNL et d'autres structures ou équipements qui ne sont pas adaptés pour résister à des températures cryogéniques (par exemple, la coque du navire) peut entraîner de graves dommages et ruptures.
- **Stratification et roll-over**: Le phénomène de roll-over se produit lorsque deux volumes de GNL de densités différentes entrent en contact dans un même conteneur. À ce moment-là, le GNL de plus forte densité aura tendance à se stratifier sur le fond avec une augmentation soudaine de la vitesse d'évaporation qui entraînera une augmentation rapide de la pression dans le

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



Interreg



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



réservoir. Cet environnement est atténué par des systèmes spéciaux de vannes de purge qui, s'ils ne sont pas gérés par des composants et des procédures spéciales, peuvent présenter de graves dangers pour le personnel et les installations environnantes.

- **Sloshing**: le phénomène de sloshing se produit lorsque les réservoirs ne sont pas complètement remplis et que le liquide à l'intérieur de ceux-ci, en raison du mouvement des vagues, frappe avec une forte pression sur les surfaces, ce qui peut endommager gravement la structure..
- **Transition rapide de phase (RPT o Rapid Phase Transition)**: Le phénomène consiste en un changement de phase rapide d'un liquide en vapeur ; il se produit lorsque deux liquides de températures très différentes entrent en contact, comme cela peut être le cas, par exemple, du GNL qui se déverse dans la mer. Cette transformation soudaine libère une quantité d'énergie telle qu'elle provoque des ondes de pression semblables à celles d'une explosion.
- **BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)**: Le phénomène de BLEVE fait référence à l'explosion de vapeurs qui se dilatent en raison de l'ébullition d'un liquide, c'est-à-dire un type d'explosion qui se produit en même temps que la rupture d'un récipient sous pression. Elle peut se produire en cas de déversement rapide ou d'impact avec formation de fragments qui peuvent être projetés en raison de l'onde de choc.
- **Explosion de nuage de vapeur (VCE o Vapour Cloud Explosion)**: est le phénomène par lequel une grande quantité de vapeur de GNL s'enflamme dans un environnement confiné, provoquant une explosion. Lorsque le GNL se réchauffe au contact de l'air, il se met à mâcher l'air et commence à se disperser, créant un nuage de vapeur. Si sa concentration se situe dans la plage d'inflammabilité et qu'elle entre en contact avec une source d'inflammation, elle est alors susceptible d'exploser.
- **Jet fire, pool fire, flash fire**: en cas de rejet de GNL, le déclenchement immédiat du GNL entraîne un "jet fire" (également appelé "spray fire") ou un "pool fire", selon la phase rejetée et la fraction de liquide capable de s'accumuler sur le sol. Si ces événements ne se produisent pas, la dispersion du jet de gaz ou l'évaporation de la masse de matière inflammable crée un nuage inflammable capable de produire un "flash fire" en cas d'allumage retardé. On parle de "jet fire" ou "spray fire" pour indiquer la formation d'un jet de feu avec une diffusion assez violente. Le phénomène est généré par l'allumage d'un mélange composé d'un agent de combustion et d'un carburant gazeux libéré en continu, au moyen d'une force importante, dans une ou plusieurs directions. Au contraire, en cas d'allumage retardé, il se produit le phénomène de flash fire, c'est-à-dire le phénomène de combustion "rapide" non explosive provenant de la formation d'un nuage de gaz dans un environnement où la concentration de GNL dépasse la limite inférieure d'inflammabilité.
- **Asphyxie** : Le gaz naturel peut être étouffant car il contribue à réduire le pourcentage d'oxygène dans l'air, le remplaçant directement. Le risque d'asphyxie semble plus élevé lorsque vous vous trouvez dans des espaces fermés ou en présence d'un dégagement important de gaz dans un espace ouvert mais à proximité de personnes.
- **Terrorisme** : de nombreux actes de violence ou de terrorisme sont commis à l'encontre des installations et des équipements de GNL. Cependant, selon les règles et réglementations imposées, les réservoirs au sol nécessitent d'importantes quantités d'énergie pour leur manipulation, de sorte que la probabilité d'attaques terroristes est liée à un incendie plutôt qu'à une explosion. Afin de réduire le risque de dommages aux personnes, aux structures et aux équipements, il est essentiel de définir des distances de sécurité appropriées et des procédures d'autorisation spécifiques pour l'accès aux zones les plus sensibles et les plus critiques, ainsi

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



que des inspections, des patrouilles, des plans de sécurité en cas de violation de la sécurité et des systèmes de communication d'urgence.

- Tremblements de terre : l'évaluation des risques doit tenir compte de toute activité sismique présente dans la zone où l'installation est située et cette évaluation doit être effectuée au stade de la conception.

La section qui suit l'examen des approches méthodologiques utilisées et la description des principales sources de données consultées pour la mise en œuvre de la BD montre que l'échantillon final est représenté par 83 observations dans le monde entier concernant des événements à risque, des accidents ou des situations à risque potentiel qui ont eu lieu entre 1944 et 2020. Cette section fournit des informations supplémentaires sur la structure logique de la base de données elle-même.

#### **10.4. Résumé des principaux résultats observés**

Le produit T2.4.2 examine ensuite certains des principaux profils pertinents liés à l'examen des risques et accidents liés à la gestion des infrastructures de soutage et de stockage du GNL ou en référence aux moyens de transport de tout type qui utilisent ce type de combustible pour sa propulsion.

Les données historiques sur les observations des accidents et des risques liés au GNL entre 1944 et 2020 dans l'environnement maritime et portuaire montrent que, bien que des progrès significatifs aient été réalisés sur le profil de sécurité et de sûreté, ces événements ont partiellement augmenté. Toutefois, cela est probablement dû à l'augmentation de la production et du commerce de cette marchandise au cours des dix dernières années, ainsi qu'à une plus grande transparence de la communication et à la visibilité médiatique en relation avec ces événements.

L'analyse des 83 observations de la DB a montré que 74 d'entre elles étaient dues à des accidents qui se sont effectivement produits et 9 à des risques qui ne se sont pas matérialisés. Les événements en question sont également classés en fonction du niveau de risque et du niveau d'impact (faible, moyen, élevé). À cet égard, les résultats de l'analyse montrent que 75 % des observations peuvent être classées comme ayant un risque/impact "moyen à faible", tandis que les 25 % restants sont classés comme ayant un risque/impact "élevé". Toutefois, il convient de souligner que la plupart des événements à haut risque se rapportent à des événements qui se sont produits avant 2000, ce qui témoigne du fait qu'après cette date, il y a eu une augmentation significative des normes technologiques et davantage de formation sur la définition des procédures et des meilleures pratiques liées aux profils de sûreté et de sécurité.

La Figure 56 montre, en général, la corrélation entre la catégorisation des risques et le type de risque associé à la gestion du GNL :



Figure 56: Corrélation entre la classe de risque et le type de risques chimiques

Rischio specifico	Classe di rischio
<i>Sloshing</i>	Rischio alto
<i>Bleve</i>	Rischio alto
<i>Esplosione nube di vapore</i>	Rischio alto
<i>Fire (jet, pool, flash)</i>	Rischio alto
<i>Asfissia</i>	Rischio basso
<i>Terrorismo</i>	Rischio basso
<i>Terremoti</i>	Rischio basso
<i>Gas di evaporazione</i>	Rischio medio
<i>Contatto</i>	Rischio medio
<i>Roll-over</i>	Rischio medio
<i>Transizione rapida di fase</i>	Rischio medio

Source : Notre élaboration à partir de la BD sur les risques et les accidents.

L'analyse des résultats montre que le type de risques chimiques prédominant associé au GNL relève de la catégorie "contact avec le GNL", suivie de la catégorie "explosion et incendie du nuage de vapeur".

En revanche, en ce qui concerne la classification des risques/incidents en fonction de la phase opérationnelle dans laquelle ils se sont produits, l'analyse des données suggère que les phases du cycle marine-port les plus touchées par des événements de ce type sont principalement celles du chargement/déchargement de GNL, des opérations des terminaux dans les usines de regazéification et de liquéfaction et des cas relatifs à la navigation en mer.

En ce qui concerne les causes des risques/accidents dans la gestion du GNL dans les ports, les principales causes sont les défaillances des équipements des terminaux et des navires et les collisions entre navires. Ce constat porte sur la nécessité de se doter d'équipements de pointe mais aussi sur le niveau de professionnalisme des opérateurs économiques concernés, la définition de procédures de sûreté et de sécurité conformes aux techniques les plus récentes du secteur et l'organisation de cours de formation continue pour soutenir le personnel employé dans les activités en question.

Le groupe de travail de l'ESA a ensuite également analysé les implications/conséquences des risques/accidents selon une échelle d'intensité allant de 1 à 5 dans la Figure 57.

Figure 57: Classification des implications/conséquences des risques/incidents dans la gestion du GNL

Implicazioni/conseguenze	Definizione
1	Non si tratta di incidente ma di rischio
2	Incidente senza vittime/feriti/danni
3	Incidente con danni
4	Incidente con feriti ma non vittime
5	Incidente con vittime

Source : Notre élaboration à partir de la BD sur les risques et les accidents.

Les données présentées dans la figure suivante (Figure 58) montrent que plus de 50 % des événements cartographiés sont classés comme des accidents du troisième degré (dommages matériels aux structures matérielles) ; dans 10 % des accidents, il y a eu des victimes, tandis que dans 20 % des cas, l'événement est classé comme un accident sans victimes/blessures/dommages..



Figure 58: Degré de gravité des implications/conséquences des risques/accidents liés à la gestion du GNL

Grado Implicazioni/conseguenze	Numero
Livello 3	48
Livello 5	12
Livello 1	9
Livello 2	9
Livello 4	5
<b>Totale complessivo</b>	<b>83</b>

Source : Notre élaboration à partir de la BD sur les risques et les accidents.

L'analyse de la DB se poursuit en présentant des données sur les événements mortels et sans victimes, montrant un nombre relativement faible de décès par rapport à l'horizon temporel des observations. Le nombre de blessures liées aux risques/accidents liés à la gestion du GNL suit également la même tendance que celui des victimes.

D'autre part, les données montrant les dommages causés par les risques/accidents dans la gestion du GNL suggèrent que dans de nombreux cas, les événements en question ont causé des dommages matériels, alors que dans environ la moitié des cas, seul un déversement de GNL sans conséquences s'est produit.

La dernière analyse effectuée sur le DB concerne la zone géographique dans laquelle ces événements à risque ou ces accidents se sont produits le plus fréquemment : Les États-Unis, l'Algérie et le Japon sont les pays où le nombre de cas est le plus élevé ; ces chiffres sont liés au fait que les deux premiers pays sont d'importants pays importateurs et exportateurs, tandis que le Japon possède les plus grandes usines de transformation.

### 10.5. Un exemple d'application de l'analyse des risques : le cas français

Dans le dernier chapitre du produit T2.4.2. il est proposé une application de l'analyse de risque centrée sur les spécificités du contexte français, selon des méthodologies et des normes reproductibles aux contextes portuaires italiens d'intérêt.

De ce point de vue, après avoir précisé les profils d'introduction relatifs à la méthodologie utilisée et aux critères retenus pour l'évaluation des risques (probabilité ou fréquence de transformation du risque en accident ou en événement dangereux ; gravité des effets associés aux accidents ou autres phénomènes liés au risque), le produit T2.4.2 présente des modèles empiriques pour l'évaluation des risques en utilisant la matrice MMR, utilisée en France.

Les fréquences sont indiquées, en tant qu'unité universelle, en "cas par an" tandis que les niveaux de gravité sont classés en fonction de :

- la portée ou la distance des effets
- le nombre de personnes exposées aux effets

Dans le document, en particulier, la gravité de l'effet sera mesurée en fonction de la distance (exprimée en m) et en tenant compte de certains seuils proposés dans le Tableau 71.

*Tableau 71: Niveaux d'effet critique basés sur les expositions dangereuses*

Tipo di effetti	Soglia per i cosiddetti effetti letali significativi o SELS	Soglia di 1° effetti letali o SEL	Soglia per effetti irreversibili letali (non letali) o SEI
Terminali a causa di un'esposizione superiore a 2 minuti	8 kW/m <sup>2</sup>	5 kW/m <sup>2</sup>	3 kW/m <sup>2</sup>
Terminali a causa di un'esposizione inferiore a 2 minuti	1800 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s	1000 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s	600 (kW/m <sup>2</sup> ) <sup>4/3</sup> .s
Termico dovuto a VCE	Distanza dal LIE	Distanza dal LIE	La distanza dal LIE è aumentata del 10%.
Meccanica dovuta alla sovrappressione	20 kPa	14 kPa	5 kPa

Source : CCI del VAR, 2020 (“Lotto 3 – Analyse des risques liés aux installations de GNL dans les zones portuaires”)

En ce qui concerne le tableau mentionné ci-dessus, il convient de noter que :

- le seuil SELS correspond à 5 % des effets létaux possibles pour une population exposée à ce seuil,
- le seuil SEL correspond à 1 % des effets létaux possibles ou de l'apparition d'effets létaux pour une population exposée à ce seuil,
- le seuil de SEI correspond généralement aux effets avec séquelles pour une population exposée à ce seuil.

Ensuite, le document décrit les hypothèses et les approches de calcul des distances d'effet, en précisant l'utilisation du logiciel PHAST pour mettre en œuvre le modèle. Parmi les hypothèses analysées, il y a :

- Flux vers la fuite
- Vaporisation avec épandage au sol
- Vaporisation avec épandage dans l'eau
- Dispersion atmosphérique
- Explosion du nuage de vapeur (VCE)
- BLEVE

Toutes les hypothèses susmentionnées sont analysées plus en détail dans le document.

Les distances d'effet relatives aux phénomènes de BLEVE, VCE ou de jet fire sont répertoriées dans le document au moyen de tableaux spéciaux qui distinguent le volume de GNL concerné, le contexte typique dans lequel ces phénomènes pourraient se produire, et les données relatives aux seuils SELS, SEL et SEI énumérés ci-dessus.

En ce qui concerne l'analyse de l'autre dimension utilisée dans l'évaluation des risques, c'est-à-dire la fréquence des événements dangereux, le document distingue le cas d'un phénomène BLEVE de l'approche générale utilisée en cas de pertes.

Les bases de données de référence pour les valeurs guides de fréquence sont essentiellement le document néerlandais "Drink Reference Manual Risk Assessment" (RIVM, 2009), et le document britannique HSE "Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessment (HSE, 2012)", en plus du retour d'information fourni par SHELL sur la base des indications proposées par ses clients.

Les données sur la fréquence des événements dangereux sont ensuite résumées au moyen de tableaux spécifiques dans le document dans lequel elles sont indiquées :

- les conditions de stockage du GNL (pressurisé ou non pressurisé)
- le type de phénomène ou d'événement dangereux associé
- le contexte dans lequel ces phénomènes ou événements pourraient se produire
- les classes de fréquence associées

Le chapitre se termine par un résumé des données de l'analyse de risque présentées sous la forme d'un tableau :

- les conditions de stockage du GNL (pressurisé ou non pressurisé)
- le type de phénomène ou d'événement dangereux associé
- le contexte dans lequel ces phénomènes ou événements pourraient se produire
- les distances d'effet réparties en fonction des seuils SELS, SEL et SEI
- les classes de fréquence associées

Veillez-vous référer à la version complète du document pour l'examen détaillé des tableaux ci-dessus et de leur contenu technique précis.

## **11. FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.4.3 "LIGNES DIRECTRICES POUR LA MÉTHODOLOGIE ACV DANS LES SYSTÈMES D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE"**

### **11.1. Objectif du produit T2.4.3**

Le produit T2.4.3 est basé sur une approche interdisciplinaire qui combine les dimensions techniques, économiques et juridiques et l'utilisation d'une logique commune pour éviter la duplication des investissements et le risque de non-interopérabilité entre les différentes installations. Ce produit est divisé en une première section définissant la portée de l'analyse ACV pour les systèmes de soutage/stockage de GNL dans les zones portuaires en ce qui concerne une chaîne logistique à petite échelle (GNL à petite échelle), suivie d'une section générale sur le cadre conceptuel et réglementaire de l'approche ACV et de sections analytiques visant à contextualiser cette approche à la fois par rapport aux différentes options technologiques pour le soutage et le stockage de GNL dans l'environnement maritime-portuaire et par rapport à la portée géographique spécifique. Le document conclut en introduisant quelques éléments de base liés à l'acceptabilité sociale de ce type d'infrastructure énergétique.

L'objectif du document tel qu'indiqué est d'utiliser la méthodologie ACV pour identifier les principaux impacts et les éventuelles criticités environnementales associées aux technologies de soutage du GNL par rapport aux zones portuaires au sein d'une chaîne logistique à petite échelle (SSLNG), en tenant compte en particulier de la réalité des ports de l'espace maritime IT-FR transfrontalier de la Méditerranée du Nord qui adhèrent au projet "TDI LNG NETWORK". En outre, le rapport définit des lignes directrices pour reproduire ce type d'analyse dans des cas empiriques spécifiques soumis à une évaluation de la faisabilité technique par les organismes et acteurs concernés. Le produit semble donc clairement profiter aux groupes cibles du projet, tels que les autorités portuaires et les AdSP, les entités publiques locales intéressées par la construction d'installations de ravitaillement en GNL, les capitaineries, etc.

### **11.2. Aspects généraux de l'avitaillement en GNL**

#### ***11.2.1. Nature et caractéristiques du gaz naturel liquéfié (GNL)***

Obtenu par liquéfaction du gaz naturel (GN), le GNL, dont le principal composant est le méthane, est purifié des hydrocarbures plus complexes (tels que les composés sulfurés, le dioxyde de carbone et les hydrocarbures lourds) et d'une grande partie de l'éthane, du propane et du butane qui, comme pour l'eau, le mercure et le soufre, doivent être limités afin d'éviter, par exemple, les problèmes de corrosion, les risques de solidification lors du refroidissement, etc.

Transporté par mer sous forme liquide (liquéfié à température cryogénique pour le rendre plus léger et moins encombrant) par des méthaniers, le GNL, une fois arrivé à destination, est déchargé dans des installations de stockage qui le remettent sous forme gazeuse afin de le rendre disponible pour la consommation traditionnelle.

#### ***11.2.2. Avantages environnementaux du GNL***

L'utilisation du GNL comme carburant de substitution peut aider à surmonter les produits énergétiques caractérisés par un impact environnemental globalement plus important, ce qui se traduit par des effets positifs non seulement en termes de réduction des émissions polluantes et de changements climatiques



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



(la purification des gaz acides, CO<sub>2</sub> et SO<sub>x</sub> et l'élimination presque complète des particules et des NO<sub>x</sub> permettent une réduction des émissions de gaz à effet de serre, de particules et de substances dangereuses pour l'environnement et la santé), mais aussi en ce qui concerne le secteur des transports. Ce dernier domaine d'application du GNL est relativement récent, en effet, en ce qui concerne le transport maritime, il permet non seulement d'atteindre plus facilement les objectifs de réduction de l'impact de la présence de soufre dans les carburants, conformément aux objectifs fixés par la directive européenne 2012/33/UE (transposée en Italie par le décret législatif n° 112 /2014), mais aussi pour accroître l'utilisation de carburants alternatifs dans le secteur des transports, conformément à la directive 2014/94/UE (créée dans le cadre du paquet "Énergie propre pour les transports", élaboré par la Commission européenne) dans le but de minimiser la dépendance au pétrole et d'atténuer l'impact environnemental dans le secteur tant pour l'amélioration de la qualité de l'air que pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

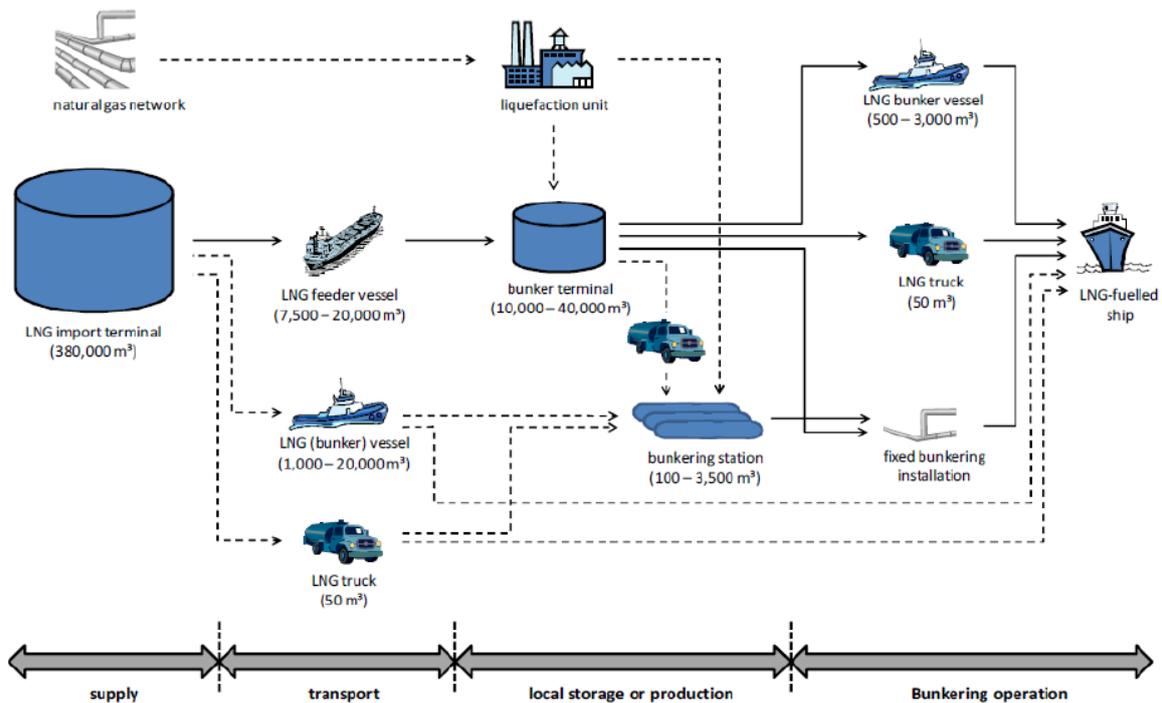
Le GNL étant toujours un combustible fossile, il n'est pas exempt d'émissions de gaz à effet de serre et d'autres émissions nuisibles à la santé humaine et aux écosystèmes (par exemple, fuites potentielles ou rejets involontaires de méthane). Cette considération, en particulier, conduit à penser que l'application d'une approche "analyse du cycle de vie" (ACV) pour évaluer les impacts de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement est particulièrement utile.

### *11.2.3. Chaîne logistique du GNL*

Afin de développer une approche de type ACV, la Figure 59

simplifie la chaîne de valeur du GNL, divisée selon les différentes étapes de la chaîne d'approvisionnement en tant que carburant pour le secteur maritime, c'est-à-dire l'approvisionnement, le stockage ou la production locale, le ravitaillement.

Figure 59. Aperçu des différentes étapes de la chaîne d'approvisionnement en GNL comme carburant pour la navigation



Source : Guide EMSA 2018.

Dans le cadre de ce produit, la chaîne de valeur prise comme référence, c'est-à-dire le champ d'application de l'approche ACV, coïncide avec les opérations de soutage qui ont lieu dans les ports. En ce sens, il s'agit d'une chaîne logistique de GNL à petite échelle, techniquement appelée "Small Scale LNG" (SSLNG), dont les capacités de stockage de GNL, dans des réservoirs pressurisés ou atmosphériques, sont inférieures à 20 000 m<sup>3</sup> par an. Le seuil identifié pour l'analyse semble cohérent avec le dimensionnement considéré comme prévalant dans les ports d'intérêt ainsi qu'avec les premiers projets réalisés ou en cours dans les ports de la zone cible.

#### 11.2.4. Mode de soutage du GNL

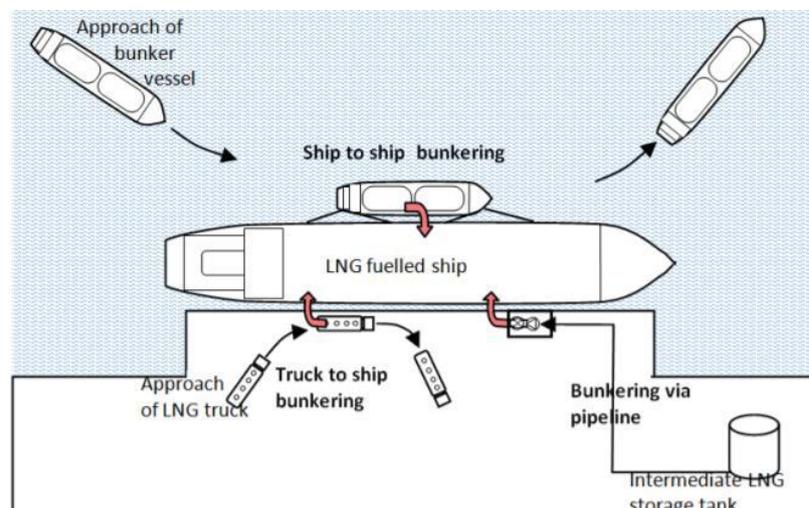
Pour les besoins du document relatif au soutage et au stockage du GNL, les analyses effectuées selon l'approche ACV ont été réalisées par le consultant externe TENCOCREO en ce qui concerne l'approvisionnement en GNL par un navire de réception par le biais des quatre différents modes/configurations technologiques considérés dans le cadre de l'ensemble du projet TDI RETE-GNL:

1. La configuration technologique de type Ship-to-Ship (STS) implique le transfert de GNL d'un navire-citerne ou d'une barge à un navire propulsé par du GNL. Parmi les principaux avantages de l'option technologique STS figurent la possibilité d'opérer en mer même sans avoir à entrer

- dans le port, si les conditions météorologiques et les vagues le permettent, et la possibilité de transporter de grands volumes de produits dans des délais rapides.
2. La configuration technologique "Truck-to-Ship" (TTS) implique le transfert de GNL d'un camion-citerne à un navire propulsé par le GNL et amarré à la jetée ou au quai au moyen d'un pipeline flexible cryogénique. Parmi les avantages de cette configuration figurent la grande flexibilité géographique et le faible investissement nécessaire à la mise en œuvre. Au contraire, en raison des petites quantités de produit qui peuvent être transférées grâce à cette configuration, elle est particulièrement adaptée à l'approvisionnement des navires dotés de petits réservoirs, tels que les remorqueurs, les bateaux de pêche ou les petits bateaux.
  3. La configuration technologique Shore/Pipeline-to-Ship (PTS) implique le transfert de GNL d'un réservoir de stockage fixe à terre à un navire propulsé par le GNL grâce à l'utilisation d'une ligne cryogénique avec des bras de chargement équipés d'une extrémité flexible (Pipeline) ou d'une tuyauterie à partir d'un navire amarré (Terre). Par rapport à la solution TTS, la configuration PTS assure un débit plus élevé, adapté à l'approvisionnement des grands navires.
  4. La configuration technologique des réservoirs mobiles ou des conteneurs ISO cryogéniques permet d'utiliser ces réservoirs comme des dépôts de carburant manipulables, car ils peuvent être chargés sur un navire à l'aide de grues à conteneurs ou de camions en mode Ro-Ro.

La Figure 33 et le Tableau 72 montrent schématiquement les principales configurations de la technologie de soutage du GNL et les comparent entre elles.

*Figure 60. Représentation schématique des principales options de soutage du GNL*



Source: IMO - International Maritime Organization, "Studies on the feasibility and use of LNG as a fuel for shipping" 2016, London



Tableau 72. Comparaison des performances des quatre options de soutage pour des utilisations spécifiques

Tipologia	Capacità (mc)	Flusso (mc/h)	Tipo di cliente	Capacità cliente (mc)	Numero carichi
TTS	40	50	traghetto	200	5
		50	OSV	300	8
		ND	porta-container	2400	-
PTS	500	50	traghetto	200	1
		200	OSV	300	1
		600	porta-container	2400	5
STS	300-2400	67	traghetto	200	1
		200	OSV	300	1
		600	porta-container	2400	1
LNG ISO container	40	40	traghetto	200	5
		40	OSV	300	8
		N/A	porta-container	2400	-

Source: MISE, "Document de consultation pour une stratégie nationale en matière de GNL"

### 11.3. La méthode d'Analyse du Cycle de Vie (ACV)

#### 11.3.1. Généralités et objectifs de la méthode d'analyse du cycle de vie (ACV)

Développée depuis 1990 dans le secteur industriel (SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry), l'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthodologie internationale capable de considérer le cycle de vie d'un produit dans le but de réduire son impact environnemental global, tout en essayant d'éviter que des initiatives centrées sur des phases individuelles du cycle de vie ne transfèrent simplement la charge environnementale à d'autres phases en amont ou en aval de l'ensemble du processus.

Au fil du temps, le rôle de l'ACV s'est accru dans le secteur industriel pour aider à réduire les effets négatifs globaux sur l'environnement tout au long du cycle de vie des biens et des services. Dans le cadre de la planification stratégique, l'ACV est désormais un outil d'aide à la décision pour améliorer, par exemple, la conception des produits, le choix des matières premières, la sélection des options technologiques, la définition de critères spécifiques pour la conception et le recyclage des marchandises, etc.

Il s'ensuit que le principal avantage d'une telle approche est qu'elle fournit un outil unique pour mieux comprendre l'impact environnemental d'un produit et son effet à chaque étape de la chaîne de production, dans le but ultime de montrer les avantages concurrentiels d'un système de produit spécifique par rapport à un autre système concurrent ou substituable.

#### 11.3.2. La norme de référence pour l'analyse du cycle de vie

La méthodologie d'ACV a été codifiée par les normes UNI EN ISO 14040:2006 "Analyse du cycle de vie - Principes et cadre" et 14044:2018 "Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices" qui constituent donc les normes internationales de référence. En outre, au niveau européen, l'importance stratégique de l'adoption de la méthodologie ACV en tant qu'outil scientifiquement adapté pour l'identification des aspects environnementaux significatifs est exprimée dans le Livre vert COM (2001)



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



68CE et COM (2003) 302 CE sur la politique intégrée des produits, et est également suggérée, au moins indirectement, dans les règlements européens : EMAS (Reg. 1221/2009) et Ecolabel (Reg. 66/2010).

En ce qui concerne les systèmes d'approvisionnement et de stockage du GNL dans les zones portuaires, l'ACV permet d'indiquer les synergies qui réduisent l'impact environnemental global, en partageant les ressources d'infrastructure et en utilisant des produits et services collatéraux pour réduire l'impact environnemental cumulé au niveau local. En fait, l'objectif du produit T2.4.3 est précisément de développer un ensemble de critères et d'outils de base préparatoires à la définition de lignes directrices spécifiques pour l'application opérationnelle de l'ACV aux différentes configurations de soutage de GNL dans le secteur maritime portuaire de la zone transfrontalière. En ce qui concerne l'adoption du GNL comme carburant de substitution pour la navigation, la législation de référence est le "Guide sur l'avitaillement en GNL des autorités et administrations portuaires" préparé par l'AESM, en collaboration avec la DG Mobilité et Transports de la Commission européenne, les États membres et l'industrie dans le cadre du Forum européen de la navigation durable (FESD), dans le contexte de la mise en œuvre de la directive 2014/94/UE.

En référence aux pratiques environnementales liées au soutage du GNL couvert par le produit T2.4.3 en question, l'impact associé à l'utilisation du GNL comme carburant de transport peut être étudié sous deux profils:

- le bénéfice net dérivant du GNL en remplacement des carburants traditionnels en termes de pollution atmosphérique locale (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> et particules),
- le fort potentiel d'émission de gaz à effet de serre du méthane (principal composant du GNL).

Par rapport au premier profil, le GNL occupe une position de premier plan en termes de combustible de substitution, mais il convient également de souligner les préoccupations concernant les avantages réels des gaz à effet de serre sur le cycle de vie, y compris le GNL en tant que combustible fossile. Les préoccupations relatives à l'utilisation du GNL exigent que l'on se penche sur l'élaboration de mesures appropriées pour surveiller et atténuer les émissions de méthane dans l'atmosphère.

Le défi consiste à renforcer les avantages de l'utilisation du GNL comme carburant, tout en réduisant les effets négatifs potentiels de son utilisation sur l'environnement : selon le guide de l'AESM, des facteurs tels que la technologie des moteurs, la qualité et la composition du GNL et l'analyse du cycle de vie du GNL (source de GN, production, liquéfaction, chaîne de transport/distribution, efficacité globale de la propulsion d'un navire) doivent être pris en compte.

### ***11.3.3. Cadre de référence conceptuel pour l'ACV de soutage de GNL***

L'ACV façonne le cycle de vie d'un produit comme un "système de produit" caractérisé par une ou plusieurs de ses propres fonctions. Ces systèmes de produits sont articulés en processus unitaires capables d'identifier les éléments d'entrée et de sortie et reliés à la fois entre eux par des flux intermédiaires et avec d'autres systèmes de produits par des flux de produits et avec l'environnement par des flux élémentaires. En référence à ce rapport, on entend par "système de produit" l'option technologique choisie pour le soutage de GNL dans le cadre des services de GNL à petite échelle. Par conséquent, les unités de processus sont représentées par les opérations individuelles qui configurent, respectivement, ces méthodes de soutage de GNL.



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Afin d'analyser le cycle de vie du soutage du GNL, il est nécessaire d'examiner non seulement les effets de la production de GNL et de son transport sur de longues distances par navire, mais aussi l'impact potentiel que les émissions de méthane (qui peuvent se produire pendant toutes les phases du cycle de vie du GNL) peuvent avoir sur le GNL en tant que potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Le rapport en question porte essentiellement sur la quantification des effets du changement climatique dans le cadre d'une analyse ACV de l'ensemble de la chaîne de valeur du GNL :

- Les émissions de CO<sub>2</sub> provenant de l'énergie dépensée pour l'extraction, la transformation, la liquéfaction, le transport et la distribution du GNL ;
- Émissions de CH<sub>4</sub> liées aux rejets accidentels de méthane tout au long du cycle de vie et de la chaîne d'approvisionnement du GNL.

#### *11.3.3.1. Phase 1 de l'ACV : définition de l'objectif et du champ d'application*

L'identification des destinataires de l'enquête établit que l'ACV doit s'interfacer avec d'autres instruments, par exemple d'autres normes ou enquêtes d'ordre économique, technologique, social, etc. (en vertu de la législation applicable, l'ACV traite des aspects et impacts environnementaux d'un système de produits, tandis que les aspects et impacts économiques et sociaux sont généralement en dehors du champ d'application de l'ACV, de sorte que d'autres instruments peuvent être combinés avec l'ACV pour des évaluations plus approfondies).

En ce qui concerne les objectifs du produit T2.4.3, les objectifs d'aide à la décision associés à la question du GNL dans la zone portuaire maritime auxquels la méthodologie d'ACV pourrait répondre sont identifiés dans :

- comparaison entre le GNL et les combustibles marins conventionnels,
- examiner les avantages et les obstacles potentiels du GNL par rapport aux combustibles marins classiques,
- le choix des méthodes de soutirage du GNL, en observant également la possibilité de contrôler le rejet de méthane dans l'atmosphère,
- comment adapter un terminal de regazéification pour qu'il puisse également assurer le stockage et le réapprovisionnement des navires en GNL,
- l'évaluation des points critiques liés aux infrastructures,
- Mise en place d'instruments de financement externe pour le développement des services SSLNG,
- la vérification du respect des réglementations technico-environnementales pertinentes,
- la participation des acteurs publics et privés,
- l'évaluation de l'acceptabilité sociale des investissements.

Les éléments qui peuvent être inclus dans le champ d'application du modèle d'ACV relatif à l'utilisation du GNL comme combustible marin sont les suivants :

- le "système de produit" coïncidant avec l'option technologique choisie pour le soutage du GNL dans des contextes technologiques à petite échelle,
- les fonctions que le "système de produit" est appelé à remplir ou les fonctions des multiples options technologiques de soutage,

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

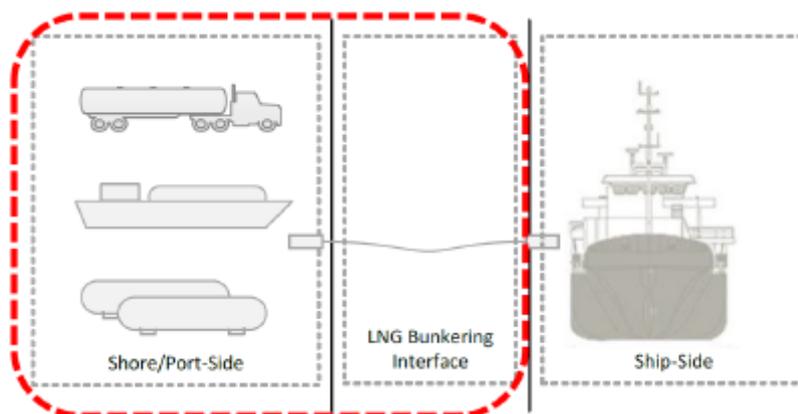
- d'autres services visant à la mise en œuvre d'une infrastructure SSLNG complémentaire/intégrale (pontons, barrages de déchargement, travaux d'accostage des navires à propulsion GNL, infrastructure de récupération du gaz d'évaporation, autres modifications des installations),
- l'expression quantitative de la performance environnementale du système de produit à déterminer, c'est-à-dire le service que le produit offre à son utilisateur,
- les catégories d'impact que vous souhaitez prendre en compte (les questions environnementales qui vous intéressent),
- les exigences en matière de collecte et de téléchargement des données environnementales dans l'inventaire du cycle de vie,
- la nature et le format du rapport qui sera produit à la fin de l'étude du cycle de vie.

Par rapport à l'objectif et à la portée assignés à l'ACV, un "produit" peut avoir une ou plusieurs fonctions, qui représentent les avantages de son utilisation. Dans ce cas, les fonctions du soutage de GNL sont les avantages environnementaux de l'utilisation du GNL par rapport aux combustibles et carburants marins classiques.

En outre, l'unité fonctionnelle, c'est-à-dire l'expression quantitative des performances d'un système de produit à utiliser comme unité de référence, ou dans ce cas la fonction de soutage du GNL, pourrait être exprimée en capacité des réservoirs de stockage ( $m^3$ ), vitesse de chargement ( $m^3/h$ ), capacité de chargement des navires propulsés au GNL ( $m^3$ ), nombre de navires (du même type/débit) alimentés en GNL dans un délai donné (n/jour ou n/heure), pouvoir calorifique du combustible fourni à l'utilisateur final (MJ).

Pour la réalisation du produit T2.4.3, il a également été nécessaire de définir les limites du "système de produits" à analyser dans son ensemble afin d'identifier les processus unitaires à inclure dans le système et donc les flux élémentaires entrant et sortant de ses limites (dans la Figure 34, le champ d'application à l'intérieur de la hachure rouge)..

Figure 61. Champ d'application de ce rapport (dans les hachures rouges)



Source: Guida EMSA 2018

La dernière activité de base de l'ACV concerne la définition des exigences relatives aux données à inventorier, qui doivent être précisées en termes tant quantitatifs que qualitatifs (représentativité par

rapport au phénomène, exactitude, exhaustivité, cohérence, reproductibilité, origine/source, certitude des informations), afin d'atteindre les objectifs et la portée de l'analyse.

### 11.3.3.2. Phase 2 de l'ACV : Analyse de l'inventaire du cycle de vie (ICV)

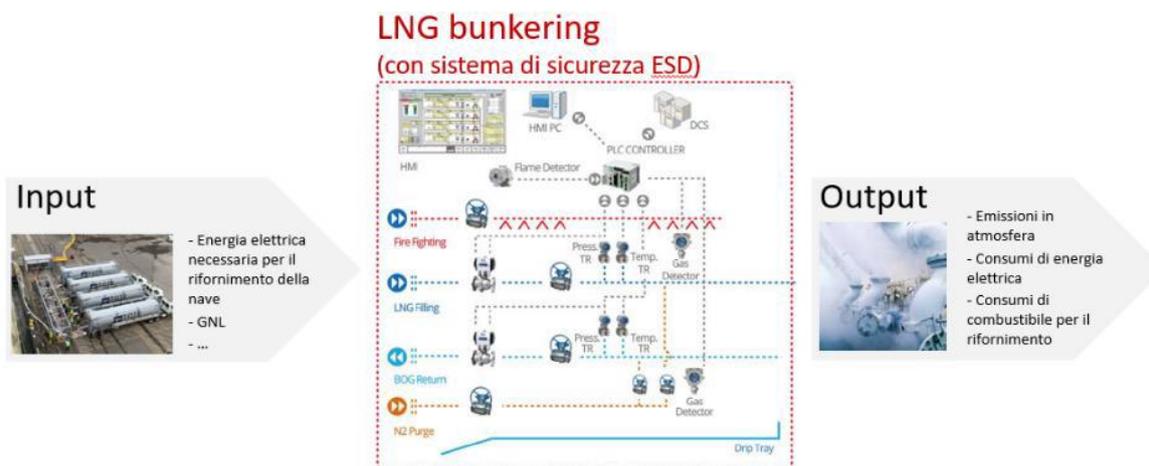
La deuxième phase de la méthodologie examinée comprend les activités de collecte des données et la définition des procédures de calcul des éléments d'entrée et de sortie des processus unitaires du système de produit, c'est-à-dire la création du modèle d'éco-bilan du système étudié (éco-bilan du produit), c'est-à-dire un schéma de comparaison analytique entre les flux d'entrée et de sortie élémentaires relatifs aux processus unitaires dont le système de produit est composé, toujours dans les limites identifiées dans la phase précédemment mentionnée.

En ce qui concerne l'activité de collecte de données et l'analyse du type et de la nature des données, les données pertinentes pour l'ACV peuvent être rattachées à quatre macro-catégories :

- des apports d'énergie, de matières premières, de matières auxiliaires ou d'autres entités physiques ;
- produits, co-produits et déchets ;
- émissions dans l'air, les rejets dans l'eau et le sol ;
- d'autres aspects environnementaux.

En ce qui concerne l'objet du processus unitaire de soutage, le schéma pourrait prendre une configuration du type de celle présentée à la Figure 62..

Figure 62. Exemple de construction d'un LCI - Schéma du processus de soutage unitaire



Source : élaboration de TECNOCREO à partir des images tirées du guide EMSA 2018

Afin d'obtenir des résultats d'inventaire pour chaque processus unitaire et unité fonctionnelle définis du système de produit dont le modèle est construit, il est nécessaire de lancer certaines procédures de calcul. La première consiste à valider les données collectées afin de confirmer et d'apporter la preuve du respect des exigences de qualité des données ; la deuxième consiste à corréler les données aux processus unitaires ; la troisième étape consiste à corréler les données au flux de référence de l'unité fonctionnelle.



**Interreg**



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

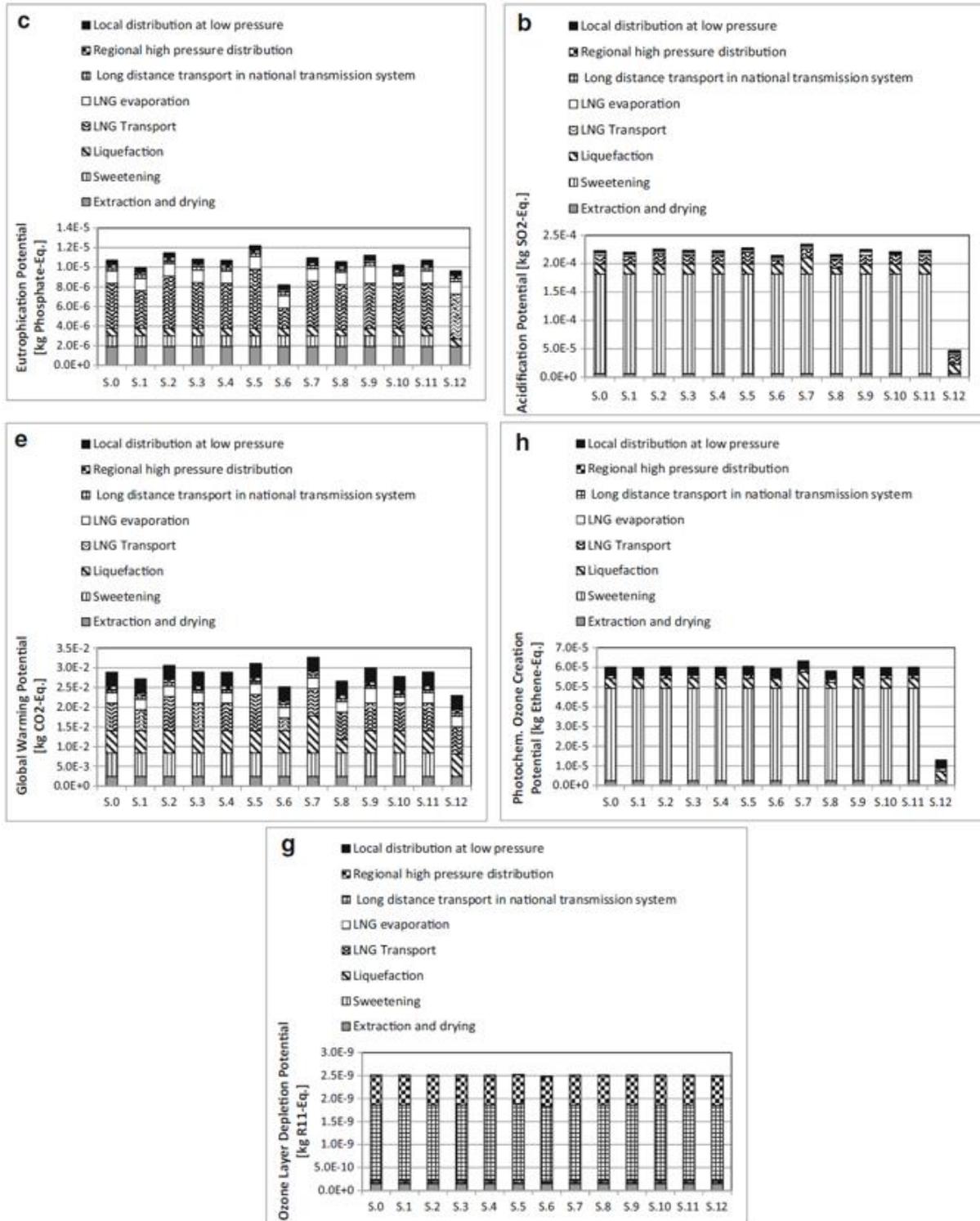


### *11.3.3.3. Phase 3 de l'ACV : évaluation de l'impact du cycle de vie (LCIA – Life Cycle Impact Assessment)*

La troisième étape requise dans le cadre de l'adoption de la méthodologie ACV est de comprendre et d'évaluer l'intensité et l'étendue des impacts potentiels d'un système de produits sur son cycle de vie, en utilisant les résultats de LCI et en fournissant des informations pour la phase d'interprétation de l'ACV du système modélisé. En termes généraux, cela permet d'associer les données d'inventaire à des catégories spécifiques d'impacts environnementaux (questions environnementales d'intérêt) et à des indicateurs de catégorie (représentation quantifiable des catégories d'impact) et d'approfondir la compréhension des impacts émergents.

La In Figure 63 donne un exemple de la manière dont la phase LCIA comprend la collecte des résultats des indicateurs pour les différentes catégories d'impact, qui, prises ensemble, constituent le profil LCIA pour le système de produits. En particulier, dans le cas en question lié au soutage de GNL, ces indicateurs représentent, en termes quantitatifs, la contribution de la chaîne de ce carburant alternatif sur le phénomène de réchauffement climatique.

Figure 63. Évaluation du cycle de vie de la chaîne d'approvisionnement en GNL pour l'utilisateur final (valeurs par unité fonctionnelle égales à 1 MJ de GNL livré à l'utilisateur final).



Source: Tagliaferri C., Clift R., Lettieri P. et al “Liquefied natural gas for the UK: a life cycle assessment”

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 “Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire”





**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



forme appropriée, compréhensible, complète et précise, sans parti pris, et avec suffisamment de détails pour permettre au lecteur de prendre connaissance des complexités et des compromis inhérents à l'ACV.

#### **11.4. Éléments d'impact environnemental liés à l'utilisation du GNL**

Lorsque l'on examine les éventuels impacts environnementaux liés à l'utilisation du GNL, l'impact du méthane en tant que gaz à effet de serre sur le réchauffement climatique ressort. Cela dépend non seulement de l'efficacité avec laquelle ce gaz peut piéger le rayonnement infrarouge, mais aussi de sa concentration en termes de présence et de persistance dans le temps. En fait, parmi les indicateurs utilisés, nous soulignons le Potentiel de Réchauffement Global (PRG), qui est le rapport entre l'impact causé par un gaz dans une période de temps donnée (20, 50, 100 ans), par rapport à celui causé dans la même période par la même quantité de dioxyde de carbone.

Selon de multiples analyses en ce sens, avec le même apport énergétique, le méthane est responsable de moins d'émissions de dioxyde de carbone que le pétrole (environ 25% de moins) et le charbon (environ 50% de moins), mais, comme pour tous les autres combustibles, il est également nécessaire d'évaluer comment et dans quel pourcentage les pertes de méthane tout au long de la chaîne de production, c'est-à-dire de l'extraction à l'utilisation comme combustible, peuvent contribuer négativement en réduisant les avantages climatiques de ce combustible fossile par rapport aux autres.

En fait, en ce qui concerne les émissions directes dues à des fuites de méthane dans l'atmosphère le long de la chaîne de distribution du GNL, il est nécessaire de distinguer entre le *methane slip*, c'est-à-dire les quantités de méthane non brûlé trouvées dans les gaz d'échappement des moteurs à la suite d'un phénomène de combustion inefficace dans les cylindres, et le *methane leakage*, c'est-à-dire toutes les émissions de méthane dans l'atmosphère dues à des fuites provenant de l'installation (joints, soupapes, tuyaux ou événements). En ce qui concerne le premier effet, le *methane slip* attribué aux moteurs de bateaux a été estimé entre 1,9% et 2,6%, bien que des mesures plus récentes aient vérifié des valeurs plus importantes avec des variations encore plus grandes, 2,3% (1,6% -3,3%) et 4,1% (2,7% -5,8%) pour les moteurs 4 temps LBSI et LPDF respectivement. Toutefois, il convient de souligner que dans les moteurs, il existe sans aucun doute encore la possibilité d'intervenir technologiquement pour réduire de manière significative la valeur absolue de cette émission, à la fois par des systèmes actifs (contrôle du processus de combustion) et des systèmes passifs (introduction de catalyseurs sur les gaz d'échappement). En ce qui concerne le *methane leakage*, ce n'est qu'en limitant drastiquement ces pertes que le bilan des émissions de gaz à effet de serre du GNL peut être considéré comme pleinement avantageux par rapport au fioul lourd ou au diesel dans le transport maritime, et, de ce point de vue, la phase de soutage représente l'une des étapes de la chaîne d'approvisionnement à laquelle il faut prêter davantage attention. En fait, en comparant les phases du cycle de vie du GNL de manière paramétrique avec celles qui caractérisent le cycle de vie du MDO (Marine Fuel Oil), il est confirmé que le GNL, d'après les données initiales optimistes (environ 20% d'émissions de CO<sub>2</sub> en moins par rapport au MDO) produit en fait un avantage beaucoup plus modeste, égal à environ 10%.

##### **11.4.1. Système d'interface entre les ports et les navires**

En concentrant l'analyse uniquement sur les aspects relatifs aux activités de soutage du GNL, c'est-à-dire de l'arrivée au port (côté port) jusqu'à la livraison de la bride du navire destinataire (côté navire), il faut définir un ensemble de mesures techniques et opérationnelles qui seront évaluées afin de définir le degré de réduction des pertes de GNL dans des conditions normales d'exploitation. Le produit T2.4.3



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



traite en effet d'un point de vue technologique des systèmes de transfert et des opérations de raccordement, d'une bride à l'autre et des éléments statiques au port (les systèmes de stockage temporaire et mobile avec lesquels le GNL est mis à disposition au port).

Toutes les différentes phases d'une procédure/opération de soutage de GNL sont liées à différents risques potentiels d'émission de méthane, depuis le raccordement des conduites jusqu'à leur déconnexion. Il est donc essentiel de gérer le moment particulier où le rejet ou la perte de méthane est potentiellement le plus probable, en mettant ainsi en œuvre toutes les mesures susceptibles d'atténuer cette menace. Vous trouverez ci-dessous le diagramme synoptique (Tableau 73) qui illustre, pour chaque procédure/phase d'opération de soutage du GNL, les différents risques potentiels de rejet de méthane et les activités/actions connexes à mettre en œuvre pour les limiter.



Tableau 73. Risques potentiels d'émissions de méthane liés au soutage du GNL

Phase de soutage	Objectif de l'activité	Substance présente à la fin	Température présente à la fin	Événement de rejet potentiel	Actions à mettre en œuvre
<b>Raccordement des tuyaux de soutage</b>	Après les vérifications préliminaires, les tuyaux de soutage sont raccordés. Les tubes de transfert principaux et les tubes de retour de vapeur peuvent être pris en compte	Air	Environnement	Aucune émission potentielle de méthane	Les tuyaux d'avitaillement doivent être correctement raccordés. Norme QC / DC à utiliser Inspection des brides avant le raccordement pour vérifier l'absence de saleté, d'humidité ou de condensation
<b>Inertage de la tuyauterie (pour l'élimination de l'oxygène)</b>	Inertisation des lignes de soutage pour déplacer l'oxygène de l'intérieur de la ligne de soutage - évitant la formation d'une atmosphère explosive. Gaz inerte utilisé	Gaz Inerte	Environnement	Aucune émission potentielle de méthane	Vérifiez les connexions pour détecter les fuites. Si vous soupçonnez une fuite, arrêtez l'inertage pour le resserrage / la réparation. Test de pression pour ligne de soutage
<b>Purge et refroidissement à la vapeur de GNL</b>	Également connu sous le nom de "Gassing-up" ou "Gas Filling". Il peut être réalisé avec une ligne de purge ou avec de petits volumes de nouveau GNL. Aide à éviter les chocs thermiques	Gaz Méthane	Environ 160°C en dessous de zéro	Libération potentielle de méthane si les connexions ne sont pas suffisamment resserrées.	Vérifiez les connexions pour détecter les fuites. Si vous soupçonnez une fuite, arrêtez le refroidissement en resserrant / réparant. Test de pression pour la ligne de soutage et d'inertage.
<b>Démarrage du transfert de GNL</b>	Avec des conduites et des réservoirs froids des deux côtés du système de soutage, le transfert à des températures similaires commence.	GNL	LNG	Augmentation potentielle de la pression si le réservoir de réception n'est pas assez froid Libération potentielle de méthane si les connexions ne sont pas assez serrées.	Le transfert de soutage ne commence que lorsque les températures sont contrôlées et convenues pour un transfert stable. Vérifiez soigneusement la pression à la réception
<b>Le remplissage effectué</b>	Lorsque le réservoir du navire de réception est rempli et approche de son niveau maximum, la vitesse doit être réduite et la pression constamment surveillée. Procédure à convenir entre le donneur et le receveur	GNL	LNG	Le dégagement de méthane peut se produire si la vitesse de remplissage n'est pas ajustée / réduite lorsque le remplissage du réservoir est supérieur à 90%. Surremplissage du réservoir entraînant la libération de la soupape de sécurité.	Les deux unités s'accordent sur le niveau du réservoir atteint. Surveillance attentive de la pression et du niveau du réservoir pendant le transfert N'utilisez pas de système d'arrêt d'urgence pour vous arrêter automatiquement en cas de niveau élevé du réservoir.

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"



<b>Interruption du transfert</b>	Une fois qu'il a été établi qu'il ne reste plus de GNL dans les lignes de soutage, le transfert est interrompu. Le système de verrouillage d'urgence ne doit pas être utilisé pour interrompre le transfert de soutage.	Gaz Méthane	Vapeurs LNG	Libération potentielle de méthane due à la surpression dans la ligne de transfert de soutage (volume piégé). Le risque de rejet est plus élevé si un système d'arrêt d'urgence est utilisé pour arrêter le soutage.	La vanne côté navire doit rester ouverte pour la purge. Contrôle à bâbord nécessaire pour garantir que le réservoir d'alimentation reste à la température et à la pression appropriées.
<b>Drainage des lignes</b>	Vider les conduites de soutage pour permettre l'évacuation de tout le GNL liquide de la conduite de soutage vers le réservoir de réception. Le GNL se vaporise dans les conduites alors que les vannes menant au réservoir de carburant du navire sont laissées ouvertes	Gaz Méthane	Environ 160°C en dessous de zéro	Le GNL liquide dans la conduite de soutage peut se vaporiser dans le réservoir de réception. Si la pression dans le réservoir de réception a été dépassée (en raison d'un excès de vapeur de GNL), la soupape de sécurité peut être libérée	La procédure de déchargement doit être correctement vérifiée. Veiller à ce que la quantité maximale de GNL soit déchargée sous forme liquide, en minimisant la nécessité de la vaporiser. Évitez les tracés non rectilignes pour éviter l'accumulation de GNL.
<b>Inertage (pour la purge du gaz naturel)</b>	Inertez les conduites de soute du GNL pour éviter l'accumulation d'un mélange gazeux inflammable dans les tuyaux ou les flexibles d'interconnexion. L'azote est généralement utilisé. Activité également connue sous le nom de "Purge"	Gaz Inerte	Environnement	C'est l'opération qui présente le plus fort potentiel de libération de méthane. En déplaçant la vapeur de GNL des conduites de soutage avec de l'azote, il y a un risque d'envoyer des mélanges dans l'atmosphère.	Les navires et les soutes doivent s'entendre sur la manière de manipuler et d'éliminer correctement le mélange d'inertage restant afin d'éviter le dégagement de méthane. Le mélange N2/NG doit de préférence être comprimé dans un réservoir ou brûlé dans un système approprié.
<b>Déconnexion des pipelines</b>	Les conduites de soutage ne sont déconnectées qu'après avoir vérifié et confirmé la présence de moins de 2% de méthane à l'intérieur des lignes d'interconnexion	Air	Environnement	La libération de méthane dans l'atmosphère est possible si la confirmation de la lecture du gaz <2 % de méthane n'a pas été correctement effectuée.	Mesure minutieuse de la concentration de méthane avant de débrancher les tuyaux. Répétez la procédure d'inertage si la concentration est > 2 %.

Source: élaboration de TECNOCREO



**Interreg**



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



#### ***11.4.2. Installation côté port (Port Side)***

Une analyse plus approfondie des différentes configurations technologiques de soutage du GNL montre que l'option STS, par rapport au système TTS, se caractérise par une capacité et une vitesse de transfert du carburant plus importantes ; par conséquent, plus les volumes de GNL stockés à bord sont importants, plus la vitesse de transfert est élevée et, par conséquent, plus la quantité de GNL qui peut théoriquement être libérée dans l'atmosphère en cas d'événements négatifs est importante. D'autre part, dans le cas des réservoirs mobiles de carburant, la clé du succès est représentée non seulement par la modularité des conteneurs normalisés ISO, dont découle la facilité d'installation, mais aussi par leur simplicité de mise en œuvre puisque ces "conteneurs" sont contenus dans un cadre ISO qui permet de les transporter à travers une chaîne logistique bien établie.

Vous trouverez ci-dessous les diagrammes synoptiques qui illustrent, en ce qui concerne les phases les plus critiques du fonctionnement des systèmes de soutage de type Ship To Ship (Tableau 74), Truck To Ship (Tableau 75), Port To Ship (Tableau 76), Mobile Fuel Tank to Ship (Tableau 77), les situations ou scénarios possibles dans lesquels un rejet ou une perte de méthane dans l'atmosphère est possible et les activités/actions connexes à mettre en œuvre afin de les limiter.

Tableau 74. Risques potentiels d'émission de méthane associés au soutage de GNL via le mode STS

Phase envisagée pour le soutage du GNL	Scénario de rejet potentiel	Actions et/ou systèmes de réduction des menaces	Phase considérée dans le soutage de GNL
		à l'usine	Liée à la Gestion
<b>Ravitaillement du navire à partir d'une installation fixe de stockage de GNL</b>	Si le réservoir n'est pas dans les bonnes conditions thermiques (température de BOG <120°C), le remplissage avec du nouveau GNL générera une production supplémentaire de BOG. Le dégagement de GNL peut se produire si le niveau d'intervention des scellés de sécurité est dépassé.	Fournir des moyens techniques pour refroidir en utilisant directement le GNL à bord ou le gaz inerte/azote.	Planifier le chargement du GNL uniquement après la date limite vérifiée. Évitez les temps d'attente lorsque la température des chars est plus élevée.
	Lors d'un ravitaillement en carburant à des volumes plus élevés, si la pression du BOG n'est pas vérifiée, elle peut dépasser la valeur seuil de sécurité. Le GNL peut être rejeté si le niveau d'intervention du sceau de sécurité est dépassé.	Système de contrôle de la pression des réservoirs Système de communication entre les appareils des deux navires.	Remplir le réservoir de GNL par le haut pour permettre au côté vapeur supérieur du réservoir de refroidir.
	Si le réservoir de carburant contient déjà du GNL plus ancien, il existe une possibilité de stratification. Probabilité de "roll-over" avec un pic excessif de génération de BOG.	Suivre les mesures techniques SIGTTO: <i>Guidance for the Prevention of Rollover in LNG Ships</i>	Définition de procédures claires à bord pour les actions correctives une fois que la stratification est détectée. Suivre les mesures techniques SIGTTO: <i>Guidance for the Prevention of Rollover in LNG Ships</i>
	Si le réservoir de carburant est chargé d'un mélange de GNL et d'azote, il y aura une possibilité d'auto-stratification. Probabilité de "roll-over" avec un pic excessif de génération de BOG.		
<b>Ravitaillement du navire à partir du pétrolier</b>	Pendant le soutage de GNL vers le navire de réception, en particulier pour de grands volumes de soutage à des taux de transfert plus élevés, une grande quantité de BOG peut être générée. Le méthane peut être libéré si la pression de retour du GNL est telle qu'elle dépasse la valeur seuil.	Utilisation d'une ou de plusieurs des solutions suivantes : -Réservoir de retenue pour les surpressions -Retour du système de reliquéfaction de la vapeur de GNL -La combustion de l'oxygène dans une unité de combustion (torche, moteur diesel, etc.). -Refroidir la charge de carburant GNL	Convenir d'un plan de remplissage approprié pour éviter la surpression et l'ouverture des systèmes de sécurité. Liste de contrôle spécifique à effectuer à chaque ravitaillement.

	<p>la ligne de soutage de GNL est excessivement longue (par exemple, lorsque les brides de livraison et de réception sont éloignées) une pression de vapeur de GNL excessive peut s'accumuler dans la ligne de soutage.          Le dégagement de GNL peut se produire si le niveau d'intervention des scellés de sécurité est dépassé. La pression de vapeur générée dans la conduite de soutage reviendra par la conduite de retour de la vapeur de GNL.</p>	<p>Minimiser la longueur des lignes de soutage de GNL.          Utilisez un tuyau correctement isolé.          Pour les bras rigides, utilisez si possible des tuyaux d'alimentation isolés et sous vide.</p>	<p>Le collecteur de livraison doit être aussi proche que possible du poste de ravitaillement du navire destinataire.          Minimiser le volume piégé.</p>
	<p>Si la procédure de vidange / purge / inertage n'est pas effectuée correctement, une partie du GNL peut rester dans la ligne de soutage.          Le dégagement de vapeur de GNL peut se produire si les tuyaux de soutage sont déconnectés alors que le GNL / GN se trouve encore quelque part sur la ligne.</p>	<p>Mesurez le gaz à effectuer avant de débrancher le tuyau.          Évitez la formation de tuyaux en forme de U où le GNL pourrait stagner.</p>	<p>Des procédures adéquates pour s'assurer que les opérations de drainage et de purge ont été efficaces.          Vérifier l'existence de la calotte glaciaire extérieure (comme indicateur de la présence de GNL à l'intérieur de la ligne).</p>

Source : élaboration de TECNOCREO

Tableau 75. Risques potentiels d'émission de méthane associés au soutage de GNL via le mode TTS

Phase du soutage de GNL	Scénario de rejet potentiel	Actions et/ou systèmes de réduction des menaces	Phase du soutage de GNL
		à l'usine	Liée à la Gestion
<b>Chargement du GNL dans le camion</b>	Pendant le remplissage, sur place. La libération de GNL peut se produire si un système de gestion des stocks approprié n'est pas mis en œuvre.	Possibilité de pulvériser du GNL pour refroidir la vapeur de GNL sur le dessus du réservoir. Le camion GNL doit être équipé d'un économiseur.	Surveiller la pression et la température Système de remplissage supérieur et inférieur.
	Le temps passé dans le réservoir de la remorque du camion GNL est limité. Lorsque le GNL est stationnaire, le BOG est généré et la pression à l'intérieur augmente. Le GNL peut être libéré si le niveau d'intervention des scellés de sécurité est dépassé.	Une isolation adéquate pour augmenter le temps de maintenance. Préférer l'utilisation de camions à double paroi Possibilité de pulvériser du GNL pour refroidir la vapeur de GNL sur le dessus du réservoir.	Planifier et programmer les réapprovisionnements pour éviter les temps d'attente inutiles pendant les activités.
	Si le réservoir n'est pas dans les bonnes conditions thermiques (température de BOG <120°C), le remplissage avec du nouveau GNL générera une production supplémentaire de BOG. Le dégagement de GNL peut se produire si le niveau d'intervention des scellés de sécurité est dépassé.	Fournir des moyens techniques pour refroidir en utilisant directement le GNL à bord ou le gaz inerte/azote.	Planifier le chargement du GNL uniquement après vérification de l'achèvement. Évitez les temps d'attente lorsque la température des chars est plus élevée.
	Le coefficient de remplissage doit être ajusté (au-dessus de 90%,). Un taux de remplissage insuffisant peut entraîner un remplissage excessif du camion de GNL.	Surveillance du niveau des réservoirs de GNL. Moniteur de pression GNL. Mécanisme de contrôle de la vitesse de remplissage approprié à la station de remplissage des camions de GNL	Convenir d'un plan adapté au système de remplissage afin d'éviter les surpressions et les ouvertures des systèmes de sécurité.
<b>Camions GNL Déchargement/ ravitaillement navire</b>	Les camions peuvent utiliser des systèmes d'accumulation de pression pour le transfert vers l'interconnexion et le navire. Si la pression d'accumulation dépasse les seuils de sécurité, elle est relâchée dans l'atmosphère en raison de l'ouverture des joints.	Moniteurs de pression pour le GNL Régulateur de pression du système d'accumulation de pression.	Procédures opérationnelles de gestion précises.

	<p>Dysfonctionnement du système de stockage côté navire, de sorte que les systèmes de sécurité du navire sont déclenchés par la fermeture de la vanne d'admission.          Il peut en résulter une accumulation de gaz dans l'interconnexion et, par conséquent, l'activation de la soupape de sécurité côté camion (contre-pression).</p>	<p>Vérifiez la compatibilité des spécifications des systèmes de navires et de camions. Surveillez la pression pour vous assurer qu'aucun excédent de gaz naturel liquéfié n'est généré dans la citerne du camion-citerne de GNL après que le soutage a été bloqué par le système du navire. Insérez un régulateur de contre-pression spécifique dans le circuit.</p>	<p>Des procédures appropriées doivent être adoptées pour éviter la production excessive de BOG et le rejet de méthane après l'arrêt du soutage.</p>
	<p>Pendant le soutage du GNL, si le réservoir de réception est à une température plus élevée que le réservoir initial, il y aura une production excessive de BOG.          Si le camion reçoit de la vapeur de GNL en retour, il en résultera une augmentation de la pression dans le réservoir du camion avec activation éventuelle des soupapes de sécurité.</p>	<p>Système de surveillance pour l'égalisation thermique correcte des deux systèmes de stockage et de l'interconnexion.</p>	<p>Des procédures appropriées doivent être adoptées pour éviter la dérive thermique des systèmes. Des procédures d'étalonnage et de validation appropriées pour les systèmes de surveillance de la température.</p>
	<p>Si la procédure de vidange / purge / inertage n'est pas effectuée correctement, une partie du GNL peut rester dans la ligne de soutage.          Le dégagement de vapeur de GNL peut se produire si les tuyaux de soutirage sont déconnectés alors que le GNL / GN se trouve encore quelque part sur la ligne.</p>	<p>Mesurez le gaz à effectuer avant de débrancher le tuyau. Évitez la formation de tuyaux en forme de U où le GNL pourrait stagner.</p>	<p>Des procédures adéquates pour s'assurer que les opérations de drainage et de purge ont été efficaces          Vérifier l'existence de la calotte glaciaire extérieure (comme indicateur de la présence de GNL à l'intérieur de la ligne)</p>

Source : élaboration de TECNOCREO

Tableau 76. Risques potentiels d'émission de méthane associés au soutage de GNL via le mode STS

Phase du soutage de GNL	Scénario de rejet potentiel	Actions et/ou systèmes de réduction des menaces	Phase du soutage de GNL
		à l'usine	Liée à la Gestion
<b>Utilisation des stockages / des dépôts fixes</b>	Si le réservoir de carburant contient déjà du GNL plus ancien, il existe une possibilité de stratification.	Si le réservoir de carburant contient déjà du GNL plus ancien, il existe une possibilité de stratification.	Si le réservoir de carburant contient déjà du GNL plus ancien, il existe une possibilité de stratification.
	Si le réservoir de carburant est chargé d'un mélange de GNL et d'azote, il y aura une possibilité d'auto-stratification. Probabilité de " roll over " avec un pic excessif de génération de BOG.		
	Pour les réservoirs atmosphériques, si la gestion de la vapeur de GNL ne répond pas au taux de liquéfaction (ou de condensation/réfrigération) requis, un excès de BOG sera généré. À la pression atmosphérique, le réservoir n'a pas la capacité de supporter une augmentation de la pression. Le dégagement de vapeur de GNL se produira si la soupape de sécurité est actionnée.	Le réservoir de stockage doit être conçu de manière à obtenir un temps de rétention adéquat (temps entre le chargement et le déchargement). Isolation, reliquéfaction et réfrigération pour une gestion adéquate de la vapeur de GNL.	Une planification adéquate pour éviter de dépasser le temps limite de fonctionnement.
	Pour les réservoirs sous pression, si un excès de BOG s'accumule, cela entraîne une augmentation de la pression du réservoir. (Le BOG peut être causé ici soit par le chargement, le déchargement ou pendant la période de maintenance). Les réservoirs sous pression auront une certaine capacité (limitée) à supporter des pressions de vapeur plus élevées. Le dégagement de vapeur de GNL se produira si la soupape de sécurité est actionnée.	Mesures techniques possibles pour limiter la production de gaz naturel liquéfié dans les réservoirs de GNL sous pression : Isolation (isolation sous vide) Vaporiser par le haut pour refroidir / condenser la vapeur de GNL Réfrigération avec des batteries internes.	Contrôle adéquat des propriétés du GNL à l'intérieur du réservoir. Procédure mise en place pour empêcher la libération de BOG par les soupapes de sécurité. Planification d'une consommation adéquate de GNL pour éviter les longs temps de stationnement.

Source: élaboration de TECNOCREO

Tableau 77. Risques potentiels d'émissions de méthane associés au soutage de GNL du mode "Mobile Fuel Tank to Ship"

Phase du soutage de GNL	Scénario de rejet potentiel	Actions et/ou systèmes de réduction des menaces	Phase du soutage de GNL
		Liées à l'usine	Liée à la Gestion
<b>Chargement du conteneur</b>	Si le réservoir n'est pas dans les bonnes conditions thermiques (température du BOG <120°C), le remplissage avec du GNL neuf générera un volume important de gaz de retour. Le dégagement de GNL peut se produire si le niveau d'intervention des scellés de sécurité est dépassé.	Fournir des moyens techniques pour refroidir en utilisant directement le GNL à bord ou le gaz inerte/azote. Refroidir à l'azote avant les opérations de remplissage.	Planifier le chargement du GNL uniquement après vérification de l'achèvement. Évitez les temps d'attente lorsque la température des réservoirs est plus élevée.
	Pendant le soutage du GNL au navire de réception, en particulier pour les gros volumes de soutage, à des taux de transfert plus élevés, une grande quantité de BOG peut être générée. Le méthane peut être libéré si la pression de retour du GNL est telle qu'elle dépasse la valeur seuil.	Système de surveillance du niveau de pression du réservoir à l'intérieur du conteneur.	Remplir le réservoir de GNL par le haut pour permettre au côté vapeur supérieur du réservoir de refroidir.
<b>Stationnement des conteneurs</b>	Si les réservoirs ISO LNG sont maintenus pleins, en attendant plus longtemps que le temps spécifié, une vapeur de GNL excédentaire sera générée. Le méthane peut être libéré si la pression de retour du GNL est telle que la valeur seuil est dépassée.	Mesures techniques possibles pour limiter la production de gaz naturel liquéfié dans les réservoirs de GNL sous pression : Isolation (isolation sous vide) Vaporiser par le haut pour refroidir / condenser la vapeur de GNL Réfrigération avec des batteries internes.	Contrôle adéquat des propriétés du GNL à l'intérieur du réservoir. Procédure mise en place pour empêcher la libération de BOG par les soupapes de sécurité. Planification d'une consommation adéquate de GNL pour éviter les longs temps de stationnement.
<b>Ravitaillement du navire destinataire à partir de conteneurs</b>	Pendant le soutage du GNL, si le réservoir de réception est à une température plus élevée que le réservoir initial, il y aura une production excessive de BOG. Si le conteneur reçoit de la vapeur de GNL en retour, il en résultera une augmentation de la pression dans le réservoir intérieur avec activation éventuelle des soupapes de sécurité.	Système de surveillance pour la bonne égalisation thermique des deux systèmes de stockage et du système d'interconnexion.	Des procédures appropriées doivent être adoptées pour éviter la dérive thermique des systèmes. Des procédures d'étalonnage et de validation appropriées pour les systèmes de surveillance de la température.
	Si les réservoirs ISO LNG sont maintenus pleins, en attendant plus longtemps que le temps spécifié, une vapeur de GNL excédentaire sera générée. Le méthane peut être libéré si la pression de retour du GNL est telle que la valeur seuil est dépassée.	LNG pressure monitor LNG regulator before pressure build-up unit.	Procédure d'exploitation adéquate pour le transfert de GNL par pressure build-up

	<p>Dysfonctionnement du système de stockage côté navire, de sorte que les systèmes de sécurité du navire sont déclenchés par la fermeture de la vanne d'admission.          Il peut en résulter une accumulation de gaz dans l'interconnexion et, par conséquent, l'activation de la soupape de sécurité côté camion (contre-pression).</p>	<p>Vérifiez la compatibilité des spécifications des systèmes de navires et de camions. Surveillez la pression pour vous assurer qu'aucun excédent de gaz naturel liquéfié n'est généré dans la citerne du camion-citerne de GNL après que le soutage a été bloqué par le système du navire.          Insérez un régulateur de contre-pression spécifique dans le circuit.</p>	<p>Des procédures appropriées doivent être adoptées pour éviter la production excessive de BOG et le rejet de méthane après l'arrêt du soutage.</p>
--	---	---	---

Source : élaboration de TECNOCREO

### 11.4.3. BREF - Best Available Techniques Reference

Dans le produit T2.4.3, on trouve également la comparaison entre les techniques mises en œuvre pour le projet et les indications des lignes directrices italiennes et des documents de référence européens sur les meilleures techniques disponibles (MTD/BAT) relatives aux sections d'installations individuelles. Cette comparaison est effectuée en analysant différents BREF et lignes directrices, ainsi qu'en recherchant des informations sur les MTD/ MTD relatives à des sections de plantes individuelles.

Le tableau ci-dessous (Tableau 78) compare les techniques couramment utilisées en matière de stockage de GNL avec le BREF "Emissions provenant du stockage" (IPPC, 2006).

Tableau 78. Comparaison entre les techniques couramment utilisées en matière de stockage du GNL et le BREF "Emission from Storage"

ASPECT	DISPOSITIONS BREF
Équilibrage de la vapeur	Équilibrage de la vapeur pendant les opérations de déchargement
Principes généraux pour la prévention et la réduction des émissions (contrôle et entretien)	Il est MTD d'appliquer un outil pour déterminer les plans de maintenance et pour développer des plans de contrôle des risques
Principes généraux pour la prévention et la réduction des émissions et des rejets dans le sol	En ce qui concerne les sols, l'objectif est d'appliquer des mesures techniques adéquates aux réservoirs présentant un risque potentiel de pollution des sols
Considérations spécifiques sur les réservoirs - réservoirs de réfrigérant	Émissions non significatives des réservoirs de réfrigérant
prévention des accidents et des blessures Sécurité et gestion des risques	Il est MTD d'appliquer un système de gestion de la sécurité
Prévention des accidents et des blessures Procédures opérationnelles et formation	Il est de la MTD de mettre en œuvre et de suivre des mesures organisationnelles adéquates pour permettre la formation du personnel
Prévention des accidents et des blessures Procédures d'exploitation et instruments pour éviter le « surremplissage »	Il est de la MTD de mettre en œuvre et de maintenir des procédures opérationnelles pour éviter les « débordements »
Prévention des accidents et des blessures Instrumentation et automatisation pour détecter les fuites	Il est MTD d'appliquer un système de détection des fuites dans les réservoirs de stockage contenant des liquides susceptibles de polluer le sol
Considérations sur les techniques de transfert et de manutention Piping	Il est MTD de fournir une tuyauterie hors sol dans les nouvelles constructions.

Source : IPPC, 2006

### 11.5. Lignes directrices pour l'application de la méthode lca au soutage de GNL

En partant des considérations ci-dessus concernant l'utilisation d'une approche ACV du GNL pour le transport maritime, en mettant l'accent sur le système de soutage, l'objectif et le champ d'action ont été définis dans le produit P T2.4.3 et l'ACV obtenue a ensuite été interprétée. En ce qui concerne le système de produits, la chaîne d'approvisionnement côtière du GNL comprend toutes les infrastructures logistiques du GNL, c'est-à-dire le regazéifieur, le navire méthanier, le dépôt côtier, le pétrolier. Par conséquent, le champ d'application de l'étude de cas couvre le système de produit et ses processus unitaires, les fonctions du système, les limites du système, les catégories d'impact sélectionnées et la méthodologie d'évaluation d'impact proposée, à travers une série de matrices et d'indicateurs de performance.

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Étude pour un plan d'action conjoint pour le GNL en zone portuaire"

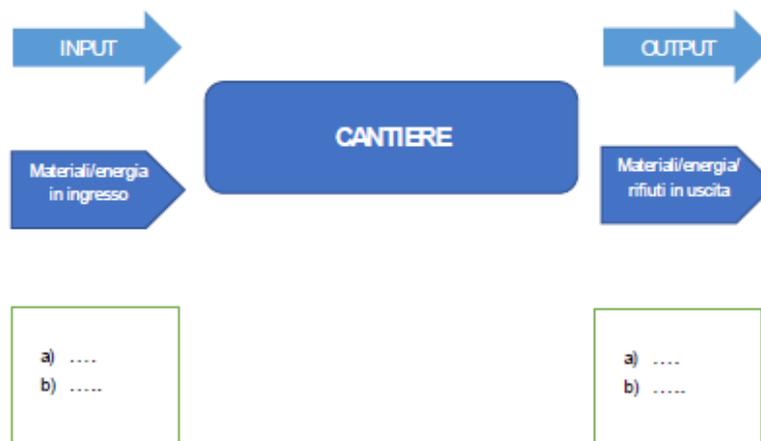
### 11.5.1. Éléments pour l'analyse de l'inventaire (LCI) et l'évaluation de l'impact du cycle de vie (LCIA)

#### 11.5.1.1. Construction d'infrastructures de stockage et de services auxiliaires

En ce qui concerne la construction d'une installation de stockage local destinée à recevoir le GNL des méthaniers et à le distribuer ensuite par soutage de navires propulsés au GNL, les activités de construction des infrastructures de service, des zones logistiques et du réseau de routes de chantier sont modélisées. En ce qui concerne l'infrastructure de service, le dépôt côtier est divisé en trois zones fonctionnelles (zone de l'usine, zone des torches, zone des réservoirs d'incendie/de réutilisation) divisées en zones. En ce qui concerne, d'autre part, les zones logistiques et le réseau routier des chantiers de construction, il convient de distinguer au sein du chantier les zones logistiques destinées à abriter les préparatifs du chantier et les éventuels systèmes de production d'électricité et à garantir le stockage des matériaux nécessaires à la construction.

Ensuite, sur la base des activités décrites ci-dessus, on procède à une estimation des flux de matériaux et d'énergie entrant et sortant du site de construction, qui peuvent être représentés par des schémas de flux comme, par exemple, celui présenté ci-dessous. (Figure 65).

Figure 65. Flux d'entrée et de sortie sur le site.



Source : élaboration de TECNOCREO

En outre, le produit T2.4.3 vise à fournir une sorte de matrice d'évaluation capable d'identifier les éventuels impacts environnementaux découlant de la phase de construction et de proposer, pour chacun d'eux, des KPI à utiliser pour leur quantification.

Vous trouverez ci-dessous la matrice d'évaluation (proposée dans le produit T2.4.3) qui identifie les éventuels impacts environnementaux découlant de la phase de construction et, pour chacun d'eux, les indicateurs KPI à utiliser pour leur quantification (Tabella 79).

Tabella 79. Matrice di valutazione

LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	DESCRIPTION/PROBLEMATIQUES	INDICATEURS KPI
Émissions dans l'atmosphère	<p>Pendant la construction de l'ouvrage, les émissions dans l'atmosphère sont principalement imputables à</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) la production de poussière due aux mouvements de terrain</li> <li>b) les émissions de polluants gazeux dans l'atmosphère provenant des moteurs des véhicules utilisés pour les activités de construction,</li> <li>c) les émissions de poussières dans l'atmosphère provenant des travaux de terrassement, de la circulation des véhicules et de la construction,</li> <li>d) les émissions dans l'atmosphère liées au trafic</li> </ul> <p>La circulation des véhicules terrestres entrant et sortant de la zone du site pendant la construction de l'installation est essentiellement attribuable à :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- transport de matériel de carrière;</li> <li>- le transport pour la mise en décharge des déchets;</li> <li>- transport de matériaux de construction;</li> <li>- mouvement des ouvriers du bâtiment.</li> </ul>	<p>1) Pour chaque type de véhicule de chantier</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- n. véhicules mois ou jour</li> <li>- Puissance (kW)</li> <li>- NOx [kg/h]</li> <li>- PTS [kg/h]</li> </ul> <p>2) Volumes e terre mouvementé (m<sup>3</sup>)/an</p> <p>3) Quantité de particules fines (PM10) soulevées dans l'atmosphère pendant les activités de chantier:</p> <p>En ce qui concerne l'estimation de la quantité de particules fines (PM10) soulevées dans l'atmosphère lors des activités de chantier, on peut se référer à la méthodologie “<i>AP 42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 13.2.2; Miscellaneous Sources – Aggregate Handling And Storage Piles</i>”.</p> <p>En particulier, en référence à la plus grande contribution aux émissions de poussières résultant de la manipulation des matériaux des terrils, l'équation empirique proposée dans la section “<i>Material handling factor</i>”, est utilisée, qui permet de définir les facteurs d'émission par tonne de matériaux excavés enlevés :</p> $E = k \cdot (0.0016) \cdot \left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3} \cdot \left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}$ <p>Où :</p> <p>E = facteur d'émission de PM10 (kg de poussière/tonne de matière enlevée),        U = vitesse du vent (supposée être de 3 m/s ;        M = teneur en humidité du sol en tas (supposée, très prudemment, égale à 4 % ;</p>

		<p>k = facteur multiplicateur pour les différentes valeurs de taille des particules ; pour les PM10 (diamètre inférieur à 10 µm), on adopte 0,35.</p> <p>Cette formule permet d'estimer la contribution des activités de loin les plus lourdes pour la dispersion des particules liées à l charge de terre/inerte sur les véhicules lourds ; charge de terre/inerte et stockage en tas ; dispersion de la partie fine par l'action du vent à partir des tas.</p> <p>4) Émissions du trafic terrestre induites au stade du chantier naval Les émissions dues au trafic terrestre peuvent être estimées à partir des facteurs d'émission de l'EMEP/EEA : par type de véhicule: NO<sub>x</sub> [g/km]      SO<sub>2</sub> [g/km]      PM10 [g/km]</p> <p>5) Estimation des émissions des véhicules de construction Émissions horaires générées par les véhicules de construction terrestres individuels compte tenu de l'état le plus grave, c'est-à-dire la contemporanéité du plus grand nombre de véhicules: NO<sub>x</sub> [kg/h]      SO<sub>x</sub> [kg/h]      PTS [kg/h]</p> <p>6) Estimation des poudres générées par la manutention au sol : Estimation des émissions quotidiennes du trafic routier induites par la phase de construction des travaux NO<sub>x</sub> [kg/jour]      SO<sub>2</sub> [kg/jour]      PM10 [kg/jour]</p>
Prélèvements d'eau	<p>Les prélèvements d'eau sur le site de construction sont principalement dus à :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) l'humidification des zones de chantier pour limiter les émissions de poussières provenant des activités de terrassement ;</li> <li>b) les utilisations civiles liées à la présence de personnel de construction.</li> <li>c) Une part supplémentaire de prélèvement d'eau est prévue pendant la phase de mise en service, liée à l'essai hydraulique du réservoir et des conduites.</li> </ul>	<p>Consommation d'eau: m<sup>3</sup>/an</p>
Rejets d'eau	<p>Les rejets d'eau pendant la phase de construction peuvent être connectés à :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) les eaux de ruissellement qui érodent des chantiers de construction. Ces eau seront collectées/envoyées vers un réservoir destiné (pendant le fonctionnement) à la gestion et à l'élimination des eaux de première et de deuxième pluie. Le rejet de l'eau en aval du traitement dans la cuve peut être acheminé vers un récepteur (rejet qui doit être spécifiquement autorisé par l'organisme compétent) ;</li> </ul>	<p>Paramètres visés à l'annexe 5, P. Terza, décret législatif n° 152 du 03.04.06 (Rejets dans les eaux de surface, Rejets dans les égouts, Rejets dans le sol)</p>

	<p>b) les eaux provenant des fouilles seront collectées et ensuite traitées au moyen d'une station d'épuration spécialisée et, de là, envoyées au réseau public d'égouts au moyen d'une canalisation (temporaire) spécialisée ;</p> <p>c) le rejet de l'eau nécessaire aux activités de mise en service des gazoducs de l'installation et des réservoirs de GNL. Ces eaux sont rejetées à la mer après un filtrage, un traitement et un contrôle de qualité appropriés de l'eau d'essai. Une autre possibilité consiste à envisager, pendant la phase d'ingénierie détaillée de l'essai, les traitements appropriés pour l'élimination : dans ce cas, l'eau d'essai ne doit plus être considérée comme un rejet mais comme un déchet ;</p> <p>d) la production de déchets d'origine civile liée à la présence de la main-d'œuvre impliquée dans les activités du chantier.</p> <p>Environnement des eaux de surface et des eaux marines      Les interactions, pendant la phase de construction, entre le projet et la composante peuvent être résumées comme suit :</p> <p>a) le rejet d'effluents liquides,      b) la modification du drainage superficiel de la zone concernée par les travaux,      c) l'occupation/la restriction de l'utilisation des miroirs d'eau,      d) les éventuels déversements/éclaboussures accidentels des moyens utilisés pour la construction</p>	
Émissions sonores	<p>Lors des activités de chantier, la génération d'émissions sonores est attribuable au fonctionnement des machines utilisées pour les différentes activités de chantier et pour le transport des matériaux. La définition du bruit émis pendant les travaux de construction n'est pas facilement quantifiable car elle est conditionnée par un certain nombre de variables, notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ intermittence et caractère temporaire des travaux ;</li> <li>▪ utilisation de véhicules mobiles avec un parcours difficile à définir</li> </ul> <p>D'autres émissions sonores pendant la phase de construction seront générées par le trafic de véhicules destinés au transport de matériaux et de personnel.</p> <p>Les interactions entre le projet et le composant peuvent être résumées comme suit :</p> <p>a) les émissions sonores des véhicules et des machines,      b) émission de vibrations par les véhicules et les machines,      c) émissions sonores du trafic terrestre induit.</p>	<p>1) Basé sur la classe acoustique municipale      Limites acoustiques [dB (A)]      Distance minimale des travaux du projet [m]      Émission (jour-nuit) [dB (A)]      Entrée (jour - nuit) [dB (A)]</p> <p>2) Pour chaque type de véhicule :      puissance sonore [dB(A)]      nombre de moyens</p> <p>3) LW = niveau de puissance sonore total des sources [dB].</p> <p>4) Bruit des véhicules (dBA)</p>

<p>Utilisation des Matières Premières et des Ressources Naturelles</p>	<p>a) Occupation des zones du site          b) Matériaux de construction (par exemple, le béton)          c) Carburants          d) Électricité          e) Main-d'œuvre : présence des employés pendant la construction du dépôt. Cette présence aura lieu pendant la phase de construction des réservoirs et des principaux équipements de l'usine.          f) Manipulation de la terre et de la roche excavées. Pendant la phase de construction, le mouvement de la terre et de la roche est prévu par exemple pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ le nivellement du sol ;</li> <li>▪ la construction des fondations des équipements principaux (systèmes sur poteaux) et des bâtiments (solution sur base de béton armé) ;</li> <li>▪ la pose des canalisations pour l'approvisionnement en eau de lutte contre l'incendie et le réseau d'évacuation des eaux de première et deuxième pluie ;</li> <li>▪ l'adaptation du réservoir de traitement de l'eau.</li> </ul>	<p>Les principales consommations de ressources sont liées à :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) béton, principalement pour la construction des fondations des réservoirs (GNL et eau d'extinction) et des autres bâtiments / équipements présents (poids);</li> <li>2) menuiserie métallique, tuyaux, équipements et systèmes électro-instrumentaux (poids);</li> <li>3) matériaux d'isolation et produits de peinture (poids);</li> <li>4) volumes de terre déplacés en termes d'excavations, remblais et remblais, pendant la construction (m<sup>3</sup>)</li> <li>5) Électricité (KWh)</li> <li>6) Eau (m<sup>3</sup>)</li> <li>7) Occupation du sol (superficie du site en m<sup>3</sup>)</li> </ol>
<p>Production de déchets</p>	<p>Les principaux types de déchets produits pendant la phase de construction sont :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) déchets liquides à usage civil</li> <li>b) papier et bois provenant de l'emballage des équipements, etc.);</li> <li>c) résidus de plastique;</li> <li>d) les terres excavées et les roches ne pouvant être réutilisées sur le site, dont les volumes à envoyer pour stockage ne seront quantifiés qu'après vérification des caractéristiques géotechniques et environnementales nécessaires pour permettre leur réutilisation.</li> <li>e) le ciment et le béton résultant de l'élimination des bâtiments existants ;</li> <li>f) matériaux ferreux frais;</li> <li>g) matériaux isolants;</li> <li>h) huiles.</li> </ol> <p>Les déchets non réutilisables seront éliminés dans des décharges autorisées après l'attribution du C.E.R. et en totale conformité avec la réglementation en vigueur sur les déchets.</p> <p>Les déchets générés seront toujours éliminés conformément à la législation en vigueur. En particulier, lorsque cela est possible, une collecte séparée sera effectuée afin de récupérer les fractions réutilisables. Tout stockage extérieur temporaire de déchets</p>	<p>Par code ERC :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) tonnes/an de déchets totaux produits</li> <li>2) tonnes/an de déchets destinés à être valorisés</li> <li>3) tonnes/an de déchets destinés à être éliminés</li> </ol>

	spéciaux non dangereux sera pourvu de bassins de confinement étanches. Les déchets spéciaux, liquides et solides, attendus en très petites quantités, produits au cours de l'exploitation ou au cours d'activités d'entretien ordinaire et extraordinaire, seront gérés conformément à la législation en vigueur sur les déchets, et transportés et éliminés par des entreprises spécialisées.	
Circulation des véhicules	<p>La circulation des véhicules terrestres entrant et sortant de la zone du site pendant la construction de l'usine est essentiellement attribuable à :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) le transport de matériel de carrière ;</li> <li>b) le transport pour la mise en décharge des déchets (matériaux de démolition, déchets civils et terrains non réutilisés sur le site).</li> <li>c) le transport de matériaux de construction ;</li> <li>d) la prise en charge des travailleurs de la construction..</li> </ul> <p>Le réseau routier et les accès à la zone principale du site de construction sont assurés par des routes existantes qui sont en mesure de répondre aux besoins du site de construction en raison de leur proximité avec les principales voies de circulation de la région.</p> <p>Il y aura également quelques transits de camions pour des transports exceptionnels pour l'approvisionnement de certains types de matériaux de construction : le nombre de ces transits sera négligeable par rapport au trafic total sur le site.</p>	Voir la section sur les émissions atmosphériques
Contamination du sol et du sous-sol	<p>Les interactions entre le projet et la composante sol et sous-sol peuvent être résumées comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) l'utilisation des matières premières et la gestion des terres et des roches excavées,</li> <li>b) les interactions avec les flux d'eaux souterraines pour les excavations/fondations,</li> <li>c) la production de déchets,</li> <li>d) l'occupation/restriction de l'utilisation des sols,</li> <li>e) la contamination potentielle du sol par pincement/épandage à partir d'équipements de construction</li> </ul>	<p>Pour les indicateurs, voir les sections correspondantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- matière première</li> <li>- les retraits et les vidanges</li> <li>- déchets</li> </ul>

Source: élaboration de TECNOCREO



### 11.5.1.2. Exploitation de l'infrastructure de stockage du GNL

De même que pour la phase de chantier, sur la base des activités liées à l'exploitation d'une installation de GNL, c'est-à-dire la réception de GNL provenant de méthaniers ("navire transporteur") et le déchargement de GNL dans des réservoirs de stockage (afin de le rendre utilisable soit comme combustible à des fins industrielles, terrestres et marines, soit pour le distribuer dans les réseaux de gazoducs existants dans les environs), on procède à une estimation des flux de matières et d'énergie entrant et sortant de la phase d'exploitation de l'installation, qui peut être représentée par des schémas de flux.

Comme pour la phase de chantier naval, une matrice d'évaluation est préparée ainsi que l'identification et la quantification des impacts potentiellement liés au travail du projet, en référence à la phase d'exploitation.

### 11.5.1.3. Opérations de soutage de GNL

Comme dans les phases précédentes, sur la base des activités de soutage du GNL et en laissant de côté la technologie spécifique utilisée (STS, TTS, PTS et Mobile Fuel Tank), un schéma des flux d'entrée et de sortie des processus et des matériaux et de l'énergie a été construit.

En outre, pour chaque option technologique de soutage du GNL, le produit en question fournit diverses indications utiles pour l'exécution pratique des étapes opérationnelles d'attribution des flux au processus de soutage élémentaire et la définition des classes de problèmes environnementaux et des indicateurs de performance.

### 11.5.1.4. Decommissioning

En ce qui concerne le processus final de mise hors service des installations de soutage du GNL, une estimation des flux de matières et d'énergie d'entrée et de sortie représentés par les schémas de flux a également été réalisée. En ce qui concerne cette dernière phase, le produit T2.4.3 met en évidence comment, avant toute opération de fin de vie, également pour le démantèlement et l'enlèvement des infrastructures de soutage du GNL, toutes les procédures de récupération et de certification sans gaz doivent être effectuées, conformément à la législation en vigueur sur les espaces confinés. Le tableau ci-dessous (Tableau 80) identifie les impacts environnementaux possibles, la description relative et les KPI proposés.

Tableau 80. Les impacts environnementaux liés au processus de démantèlement final des ouvrages de soutage du GNL.

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	DESCRIPTION / PROBLEMATIQUES	INDICATEURS KPI
Émissions de poussières	Élimination des produits chimiques, des huiles de graissage, des carburants et des substances spécifiques contenus dans les équipements, les tuyaux et les réservoirs du système ;	Veuillez-vous référer aux indicateurs proposés ci-dessus pour les phases de chantier, de stockage et de soutage.
Production des substances chimiques	Démantèlement des composants mécaniques des systèmes récupérés.	
Production de déchets	Assainissement des équipements, des tuyauteries et des réservoirs de stockage afin d'éliminer tout résidu des substances contenues.	
La circulation des véhicules	Démantèlement des composants électriques. Suppression de l'isolation.	



Interreg



UNION EUROPEENNE  
UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



<p>Contamination du sol et du sous-sol</p> <p>Drains d'eau</p> <p>Impact acoustique</p>	<p>Démolition de bâtiments et de structures.</p> <p>Le D.Lgs. 152/2006 dans le All.V à la partie V régleme les émissions de poussières dans l'atmosphère ; pour les "émissions de poussières provenant des activités de production (...) de matériaux poussiéreux" l'Art.1.1 rappelle que si de la poussière est produite, des systèmes de réduction appropriés doivent être prévus.</p> <p>Pour les machines, l'encapsulation ou la prédisposition d'un système de réduction approprié doit être prévue.</p> <p>Les types de déchets générés par les différentes opérations seront identifiés à l'avance, les quantités estimées et les méthodes de gestion et la destination finale seront définies. En outre, afin de minimiser le recours à la mise en décharge, les matériaux résultant du démantèlement de la centrale peuvent être partiellement réutilisés et les terres non dangereuses peuvent être réutilisées pour la mise en décharge.</p> <p>Toutes les opérations de démolition seront menées en utilisant des méthodes d'organisation, d'exploitation et de gestion qui garantissent que tous les impacts connexes sont minimisés.</p> <p>L'exploitation de l'usine implique principalement la production de déchets liés aux opérations de démolition et la transformation ultérieure de ces déchets en MPS pour être réutilisés in situ après tri, broyage et essais analytiques appropriés.</p> <p>Deuxièmement, la production de déchets doit être attribuée aux activités fonctionnelles aux opérations de concassage et de post-concassage impliquant le tri des matières étrangères impropres au broyage des pièces ferreuses, du bois et du plastique.</p> <p>En plus de ces déchets, des déchets provenant du fraisage de l'asphalte sur les routes de la région seront également produits. Tous les déchets seront livrés à des entreprises autorisées conformément à la législation en vigueur.</p> <p>Un opérateur formé comme responsable des urgences environnementales doit toujours être présent sur le site de construction et tous les DPI visant à minimiser les impacts possibles sur l'environnement des déversements accidentels seront présents. Des procédures d'urgence spécifiques seront toujours présentes. En tout état de cause, l'entretien régulier des machines d'exploitation est garanti.</p> <p>Le bruit produit par les activités de broyage quitte la zone du site et peut causer une gêne à la population voisine.</p> <p>Limité à la durée du chantier et aux heures de jour uniquement, comme le prévoit l'exemption de bruit pour les activités et les chantiers temporaires.</p> <p>L'impact est limité à la durée du chantier et aux zones concernées.</p> <p>Dans tous les cas, le bruit produit sera géré conformément à la réglementation en vigueur en matière de pollution sonore.</p> <p>Le choix éventuel d'utiliser une installation mobile pour la récupération des agrégats pourrait être fonctionnel pour réduire la circulation des véhicules lourds à destination et en provenance de la zone du site, avec les inconvénients qui en résultent pour la</p>	
---	---	--



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**TDI RETE-GNL**

	population, notamment en termes d'acoustique environnementale.	
--	---	--

Source: élaboration de TECNOCREO

### 11.6. Spécificités géographiques dans l'application de LCA

En plus de tous les éléments codifiés par la réglementation technique, il y a des aspects dans la mise en œuvre d'une ACV dans un projet de soutage qui dépendent de la localisation du site sur lequel l'intervention doit être effectuée. En ce qui concerne le projet auquel ce produit se réfère, c'est-à-dire les ports de l'espace maritime transfrontalier IT-FR en Méditerranée du Nord qui adhèrent au projet Interreg IT-FR "TDI RETE-GNL", trois caractéristiques et traits communs se dégagent qui sont présents dans presque toutes les zones portuaires qui sont le résultat de la commande.

- de l'itinéraire historique et donc la consolidation de certains usages,
- a protection des caractéristiques naturelles spécifiques,
- le conditionnement donné au développement urbain par la morphologie du territoire.

Le premier thème est certainement bien représenté dans le concept de patrimoine culturel et artistique. En effet, la Convention sur la protection du patrimoine mondial culturel et naturel, adoptée par l'UNESCO en 1972, prévoit que les biens candidats peuvent être inscrits sur la liste du patrimoine mondial en tant que patrimoine culturel ou naturel. Alors que le patrimoine culturel comprend trois types de biens, c'est-à-dire les monuments, les agglomérations et les sites, le patrimoine naturel comprend les monuments naturels, les formations géologiques et physiographiques et les sites/zones naturels. Parmi les 55 sites italiens reconnus au total, il faut considérer, pour les besoins de ce produit, Portovenere, Cinque Terre e Isole (Palmaria, Tino et Tinetto) site UNESCO depuis 1997 ; Gênes, la Strade Nuove et le Sistema dei Palazzi dei Rolli site UNESCO depuis 2006 ; la réserve naturelle de Scandola site UNESCO depuis 1983.

Le second facteur concerne la valeur de certains éléments de biodiversité et de naturalité présents dans la zone géographique du projet de recherche. Parmi les zones protégées qui insistent sur la portée de l'étude, on trouve :

- Sanctuaire pour les mammifères marins, une zone marine protégée internationale créée en vertu d'un accord international entre la France, l'Italie et la Principauté de Monaco, la Zone naturelle marine protégée Capo Carbonara ;
- En Sardaigne, la zone marine protégée Penisola del Sinis - Isola Mal di Ventre, la zone naturelle marine protégée Tavolara - Punta Coda Cavallo, la zone naturelle marine protégée Capo Caccia - Isola Piana, la zone marine protégée Isola dell'Asinara ;
- En Ligurie, la zone marine protégée des Cinque Terre, la zone naturelle marine protégée de Portofino, la zone marine protégée de l'Isola di Bergeggi ;
- En Corse, la zone marine de Scandola.

Le troisième facteur, la conformation du tissu urbanisé, permet de lier l'ensemble de la zone cible et de différencier les zones environnantes. Chaque réalité portuaire présente à toutes fins utiles des situations singulières, avec des contraintes opérationnelles différentes et une proximité des zones anthropisées qui conduit à devoir évaluer les impacts puis à faire une ACV à la lumière de certains éléments, à savoir la proximité des activités commerciales et des textiles résidentiels, sans parler des petits espaces disponibles.

### 11.7. Domaines d'application de la LCA

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Studio per un piano d'azione congiunto per il GNL in ambito portuale"



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



L'ACV est donc l'une des différentes techniques de gestion environnementale disponibles, dont les résultats peuvent offrir des informations utiles à exploiter dans le cadre d'un processus décisionnel beaucoup plus complet, c'est-à-dire que, d'un point de vue opérationnel, elle comprend tout ce qui doit être pris en compte dès les premières étapes de la définition de l'objectif et du champ d'application. Au cas où les normes de référence ISO ne permettraient pas de couvrir la multiplicité des utilisations prévues par les résultats de l'ACV ou de l'ICV, elles identifieront néanmoins les applications possibles de la technique en question, dans le domaine des systèmes et outils codifiés de gestion environnementale, ainsi que de la législation et des instruments volontaires où l'approche du cycle de vie, ses principes et le cadre peuvent être avantageusement appliqués. Parmi ceux-ci figurent, pour les besoins du présent rapport :

- Systèmes de gestion de l'environnement et évaluation des performances environnementales (normes de la série ISO 14001)
- Étiquettes et déclarations environnementales des produits (ISO 14020, 14021, 14024, 14025)
- Le label écologique de l'Union européenne "Ecolabel" (règlement (CE) n° 66/2010)
- Communication d'informations sur l'empreinte environnementale (ISO 14026:2018)
- Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement des produits (UNI ISO/TR 14062:2007)
- Communication environnementale (ISO 14063:2010)
- Conception, développement, gestion, déclaration et vérification de l'inventaire des gaz à effet de serre (GES) en vue de leur suppression (ISO 14064:2019)
- Évaluation des incidences sur l'environnement (EIE)
- Comptabilité de la gestion environnementale
- L'évaluation des politiques de durabilité (modèles de recyclage, etc.).
- L'analyse des flux de substances et de matériaux
- Évaluation des risques et des dangers des agents chimiques
- Analyse et gestion des risques des installations et des usines
- Gestion des produits et de la chaîne d'approvisionnement
- Coûts du cycle de vie (LCC)

En revanche, si l'adaptation spécifique de la norme au niveau opérationnel est laissée à l'utilisateur, il est en tout cas nécessaire de suivre la séquence des étapes selon les lignes directrices et les exigences des normes de la série ISO 14040.

En ce qui concerne le contexte du soutage et du stockage de GNL dans l'environnement portuaire maritime, de type SSLNG, l'utilisation de l'approche ACV dans les activités et les processus décisionnels liés à la construction ou à la gestion d'installations de ce type, pourrait être un outil utile pour augmenter le niveau de sécurité et de fiabilité de l'approche méthodologique adoptée lors de l'évaluation et, de cette façon, pourrait faciliter l'acceptation sociale de ce type d'infrastructure énergétique. Comme ces technologies sont très normalisées et bien connues des professionnels, mais peu connues de la communauté et d'une grande partie de la population locale et des groupes d'acteurs liés à la société civile, les processus décisionnels qui sous-tendent le choix localisé des installations de soutirage et de stockage de GNL peuvent susciter la méfiance et, par conséquent, la désapprobation : Une plus grande divulgation des propriétés des cycles de traitement du GNL et l'adoption de méthodologies d'ACV en référence à tous les processus décisionnels qui sous-tendent la construction et la gestion de ce type d'infrastructure pourraient donc réduire la perception du risque qui leur

est associé, favorisant ainsi leur diffusion dans les ports de la zone cible. Par conséquent, le produit T2.4.3 semble profiter à tous les groupes de parties prenantes prévus dans le formulaire de projet.

## 12. FICHE RÉCAPITULATIVE PRODUIT T2.4.4 " BONNES PRATIQUES DE RÉDUCTION DES RISQUES ET IMPACTS DU GNL"

### 12.1. Objectif du produit T2.4.4

Le produit T2.4.4 "Meilleures pratiques pour la réduction des risques et des impacts du GNL" fait partie de l'activité T2.4 qui est consacrée à l'identification des lignes directrices pour l'évaluation des externalités et de l'impact environnemental. En particulier, le produit vise à développer un cadre unitaire de connaissances et de compétences fonctionnelles pour soutenir les différentes entités publiques et privées impliquées dans la chaîne d'approvisionnement à petite échelle en GNL dans l'environnement portuaire maritime en ce qui concerne les activités et les procédures relatives à l'évaluation de l'impact environnemental résultant des différents types de configurations de soutage. Le produit examine notamment les bonnes pratiques liées au contexte des ports cibles en ce qui concerne l'évaluation des risques éventuels liés au GNL, l'évaluation des externalités positives/négatives potentielles des investissements prévus dans le cadre d'un plan d'action commun pour le déploiement des installations d'approvisionnement et de stockage de GNL dans les ports inclus dans le projet et fournit un premier document pour soutenir les processus décisionnels impliquant les différents acteurs concernés de la chaîne d'approvisionnement, c'est-à-dire les groupes cibles envisagés dans le formulaire.

### 12.2. Risques et dangers générés par les installations de GNL

#### 12.2.1. Dangers liés aux caractéristiques du GNL

Le GNL est un gaz naturel composé principalement de méthane amené à l'état liquide en abaissant la température à  $-160^{\circ}\text{C}$  afin de réduire l'espace nécessaire à son stockage. Plus précisément, lorsque du méthane est libéré dans l'environnement, il se forme des vapeurs froides qui provoquent la condensation de la vapeur d'eau dans l'air, initialement plus lourde que l'air lui-même ; ces vapeurs se mélangent donc à l'environnement, devenant plus légères que l'air dans des conditions atmosphériques normales de pression et de température. Les principales propriétés du gaz naturel liquéfié, dont découlent les risques brièvement examinés dans le produit T2.4.2, sont indiquées dans le Tabella 81.

Tabella 81. Proprietà del GNL

Propriété	Valeur
Conditions physiques	Liquide cryogénique
Température d'ébullition	$-161^{\circ}\text{C}$ (de $-166$ à $-157^{\circ}\text{C}$ ) à 1 bar
Densité	$448\text{ kg/m}^3$ à $-160^{\circ}\text{C}$ , 1 bar (de $420$ à $470\text{ kg/m}^3$ ) (de $0,54$ à $0,66\text{ kg/m}^3$ à $0^{\circ}\text{C}$ gas)
Point d'inflammabilité	Environ $-175^{\circ}\text{C}$
Température d'auto-inflammation	$410^{\circ}\text{C}$
Limites d'inflammabilité dans l'air	En bas : 5%. Supérieur : 15 %.

Source : OTC Produit T2.4.4 Bonnes pratiques pour réduire les risques et les impacts du GNL

L'un des principaux risques associés à l'utilisation du carburant de substitution dans cette étude concerne l'inflammabilité de la vapeur de GNL dans des limites spécifiques dans l'air (5-15 %). En effet, en cas de

libération accidentelle de gaz naturel liquéfié, un nuage de gaz inflammable pourrait se former qui, au contact de l'air, formerait des mélanges explosifs. En particulier, la formation du nuage suit les phases suivante s :

- Fuite de GNL et vaporisation partielle avant le contact avec le sol ;
- Formation et vaporisation d'une nappe liquide au contact du sol ;
- Formation d'un nuage dense et inflammable de vapeurs de GNL par mélange avec l'air ambiant.

En considérant plutôt la configuration comme un liquide cryogénique, il faut noter que le GNL peut causer de graves blessures dues au gel s'il entre en contact direct avec un individu ou peut augmenter la fragilité des matériaux (tels que l'acier). D'autre part, au contact de l'eau, une transition de phase rapide peut se produire, qui consiste en la transition du carburant de l'état liquide à la vapeur de méthane, déclenchant un mécanisme qui pourrait conduire à la détonation dans le cas d'une zone limitée ou en présence d'une source d'inflammation.

Enfin, l'un des risques mineurs liés aux caractéristiques physiques du gaz naturel liquéfié est le BLEVE, qui peut être défini comme une explosion de vapeur avec expansion du liquide bouillant, dont l'apparition est subordonnée à la présence d'une accumulation de pression.

### 12.2.2. Risques liés aux opérations de stockage et de soutage du GNL

En ce qui concerne les processus liés aux activités de stockage/ravitaillement de GNL, il convient de préciser que la base de données ARIA a recueilli 13 accidents (en 2015) impliquant le combustible précité et que, au-delà des causes qui peuvent être considérées comme primaires (pannes de machines, attaques d'engins de chantier, etc.), elles sont principalement dues à des défaillances dans la gestion des opérations par les employés. En particulier, les Tableau 82 et Tableau 83 montrent les principaux types de problèmes liés aux deux activités susmentionnées avec les recommandations correspondantes afin de réduire la probabilité de survenance de l'un des événements.

Tableau 82. Risques du stockage du GNL

Risque	Causes probables	Recommandations
Dépassement de capacité	Erreur de remplissage ou de réglage (pompes ou erreur humaine)	Mesures de niveau et alarmes Espace de tête minimum au-dessus du liquide Système de débordement
Aspirer le réservoir	Variation de la pression atmosphérique Défaut de la pompe d'aspiration du liquide Pas d'aspiration du compresseur d'évaporation Injection de GNL dans le ciel gazeux	Mesure de la pression, détection, contrôle Vannes de coupure de vide Gaz de coupure de vide
Surpression (réservoir, tuyaux)	Variation de la pression atmosphérique Evaporation par agression thermique (feu externe) Déplacement du niveau de liquide (défaut de remplissage ou retour de gaz du méthanier) Flash pendant le remplissage Roll-over : phénomène de basculement de la couche (augmentation soudaine de la quantité de gaz évaporé)	Mesure de la pression, détection, contrôle Mesure de la densité au niveau du liquide Prévention du renversement ou protection contre les bris de disque Protection des soupapes
Fuite / Rupture (réservoir, tuyaux)	Conditions naturelles et environnementales Risques technologiques, agressions extérieures (thermiques, surpression ou mécaniques) Défaut matériel Défaillance mécanique L'erreur humaine L'usure, le vieillissement Fuite de bride	Bassins de rétention Distances de séparation entre les équipements Résistance aux risques naturels, y compris les tremblements de terre Résistance à un choc, Protection contre le risque de choc,

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Studio per un piano d'azione congiunto per il GNL in ambito portuale"

	Risques naturels	Maintenance Dimensionnement selon les normes en vigueur
--	------------------	---

Source: OTC Produit T2.4.4 Bonnes pratiques pour réduire les risques et les impacts du GNL

*Tableau 83. Risques de soutage du GNL*

Risque	Causes probables	Recommandations
Fuite / rupture de tuyau flexible	Perte de poste d'amarrage/dérive du bateau Démarrer le camion Mouvement créé par un navire de passage Défaillance mécanique Erreur opérationnelle Remorquage L'usure, le vieillissement Fuite Conditions météorologiques / Marées	Zones de sécurité Maintenance Dimensionnement selon les normes Formation des opérateurs Détection Protection contre l'incendie Système de déconnexion d'urgence
Perte de confinement : réservoir du camion-citerne	Voir les causes en stock + fonctionnement incorrect Collision de véhicules	Voir les recommandations concernant les zones de stockage + la sécurité, la formation des opérateurs, la prise en compte des SIMOPS
Perte de confinement : réservoir du navire	Voir les causes dans le stockage + collision des navires entre eux / avec la jetée	Voir les recommandations concernant les zones de stockage + la sécurité, la formation des opérateurs, la prise en compte des SIMOPS

Source : OTC Produit T2.4.4 Bonnes pratiques pour réduire les risques et les impacts du GNL

### **12.2.3. Risques liés aux aspects externes des installations**

Enfin, les risques associés aux problèmes qui se posent en dehors des installations de stockage et de soutage du GNL peuvent être distingués en deux catégories : les risques naturels et les risques technologiques.

Parmi les premiers figurent des phénomènes tels que :

- Inondation qui entraînerait la submersion des équipements avec les pertes qui en découlent en termes de matériel ;
- Les phénomènes atmosphériques ou les conditions climatiques extrêmes tels que la foudre qui pourraient potentiellement causer des dommages aux structures ainsi que la perte de gaz naturel augmentant la probabilité d'occurrence de l'un des événements signalés au paragraphe précédent ;
- Les catastrophes naturelles telles que les tremblements de terre qui risquent d'endommager sérieusement les structures.

Les risques étant totalement indépendants des conditions de l'installation, la seule forme de prévention possible concerne les mesures de construction spécifiques et les barrières techniques telles que la déshydratation des équipements, la protection contre la foudre, la résistance aux séismes, etc.

L'un des principaux problèmes liés aux risques technologiques concerne les éventuels "effets en cascade" sur les installations de GNL qui pourraient être à l'origine de phénomènes extrêmement dangereux.

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Studio per un piano d'azione congiunto per il GNL in ambito portuale"



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**TDI RETE-GNL**

Enfin, il convient également de mentionner le risque, en sens inverse, lié aux dommages que l'installation de GNL pourrait causer aux infrastructures ou aux populations avoisinantes, qui doit être pris en compte (ainsi que tous les autres) notamment par le respect des réglementations et des bonnes pratiques en vigueur lors de la phase de choix du site et de dimensionnement de l'usine elle-même.

### **12.3. Situation des principales directives, codes, normes et guides sur le soutage de GNL**

Après avoir examiné les profils physiques et les risques associés à l'utilisation du GNL comme combustible de substitution, il est clair que les directives, codes, normes, guides et diverses interventions réglementaires doivent être examinés afin d'obtenir des orientations ou des dispositions sur la conception, l'exploitation et la maintenance des installations de soutage de GNL. En particulier, les directives et codes internationaux définissent un cadre de règles à suivre, tandis que les normes fournissent un point de départ à l'industrie dans ses activités de conception et d'exploitation. Enfin, les guides fournissent de véritables critères pour étayer les normes à respecter.

#### **12.3.1. Directives européennes**

Les directives européennes consacrées aux activités mentionnées à plusieurs reprises et détaillées dans le produit T2.4.4 dans la section "Bonnes pratiques pour réduire les risques et les impacts du GNL" de l'Office des Transports de Corse (OTC), comprennent :

- La directive n° 2016/802/UE vise à réduire la teneur en soufre de certains combustibles liquides ;
- Directive n° 2016/1629 établissant les prescriptions techniques des bateaux de la navigation intérieure ;
- Directive n° 2014/94/UE réglementant la mise en place d'une infrastructure pour les carburants de substitution ;
- Directive 2014/68/UE sur les équipements sous pression ;
- Directive n° 2014/34/UE relative aux appareils et aux systèmes de protection pour les environnements potentiellement explosifs ;
- Directive n° 2012/18/UE concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses ;
- Directive 2011/92/UE relative à l'évaluation des incidences sur l'environnement (EIE) de certaines entités publiques et privées ;
- Directive 2008/68/CE relative au transport intérieur des marchandises dangereuses ;
- Directive 2006/42/CE relative aux machines utilisées ;
- Directive 2003/10/CE concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à la présence d'agents physiques sur le lieu de travail ;
- Directive n° 1999/92/CE concernant les prescriptions minimales relatives à la protection des travailleurs contre l'exposition au risque d'atmosphères explosives ;
- Accord européen ADR (2019) relatif au transport international des marchandises dangereuses par route, y compris le GNL ;
- Accord européen ADN (2008) sur le transport de marchandises dangereuses par voie navigable.

#### **12.3.2. Codes internationaux**

Il existe également de nombreux codes internationaux comportant des sections consacrées au GNL ou applicables à celui-ci, surtout compte tenu de l'importance croissante que ce combustible prend dans l'environnement portuaire maritime. En particulier, les codes dérivés des conventions MARPOL, SOLAS, STCW et MLC, bien qu'ils ne se concentrent pas sur le gaz naturel et ses conséquences, contiennent des règles relatives à des aspects d'intérêt incontestable tels que, respectivement :

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Studio per un piano d'azione congiunto per il GNL in ambito portuale"



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**TDI RETE-GNL**

- Limites d'émission maximales des principaux polluants atmosphériques pour les gaz d'échappement des navires, tels que le SO<sub>x</sub> et le NO<sub>x</sub>;
- Normes minimales pour la construction, l'équipement et l'exploitation des navires ;
- Normes de formation, de certification et de veille pour les marins ;
- Aspects liés au travail maritime en général.

L'affirmation du carburant alternatif qui y est examiné a ensuite conduit à l'élaboration de deux codes internationaux qui lui sont consacrés :

- Code CIG consacré à la construction et à l'équipement des navires transportant du gaz liquéfié en vrac afin de minimiser les risques pour le navire, son équipage et l'environnement, en tenant compte des caractéristiques liées au GNL ;
- Code IGF conçu comme un code international pour la sécurité des navires utilisant du gaz ou d'autres combustibles à faible point d'inflamabilité comme carburant, de manière à minimiser les risques pour le navire, son équipage et l'environnement, en tenant compte du carburant utilisé.

### **12.3.3. Autres normes de référence**

Dans le cadre des autres règlements de référence, sont notamment considérés :

- Les normes EN et ISO que chaque pays peut adopter renforcent leur pouvoir en publiant des normes nationales ;
- Les normes API publiées par l'American Petroleum Institute ;
- Normes NFPA développées par le Système national de protection contre l'incendie ;
- Les guides fournis par divers organismes contenant des recommandations sur de multiples aspects liés au secteur de référence.

Il prodotto T2.4.4 fornisce un quadro chiaro e preciso (brevemente riportato nei paragrafi sottostanti) di tutte quelle che risultano essere le normative di riferimento in merito alle operazioni di gestione del GNL e soprattutto legate ai rischi connessi allo stesso.

Les normes EN et ISO, placées dans le contexte du cadre européen, répondent à la nécessité d'établir des caractéristiques communes et des normes homogènes pour un processus ou un produit/service spécifique. Dans le contexte considéré, il existe un certain nombre de questions extrêmement importantes, présentées sous forme de tableau dans le produit et renvoyant à des normes telles que:

- NF-EN, normes multiples relatives aux spécifications techniques et de conception des équipements et du matériel couramment utilisés dans le GNL ;
- EN Eurocode, les 10 normes européennes consacrées à la préparation d'un cadre commun pour la conception des bâtiments et des ouvrages de génie civil et des produits de construction ;
- NF EN ISO, normes françaises consacrées à des aspects tels que les dispositifs de sécurité pour la protection contre les pressions excessives ou la mesure du débit des fluides au moyen de dispositifs à vide insérés dans des conduites de charge à section circulaire et bien d'autres spécifications ;
- ISO, émis par l'Organisation internationale de normalisation, parmi lesquels ceux relatifs aux hydrocarbures liquides/réfrigérés ou aux industries pétrolières intéressent le secteur du GNL ;
- ISO/DTS, telles que les lignes directrices pour l'évaluation des risques dans la conception des usines de GNL à terre publiées en mars 2015 (n° 16901) ;
- L'ISO/TR et plus particulièrement l'ISO/TR 17177 dédiée aux industries du pétrole et du gaz naturel qui fournit des conseils sur l'installation et l'exploitation à l'interface navire/terminal et navire/navire pour les installations flottantes hybrides et les terminaux GNL pour lesquels la description conventionnelle des terminaux GNL de l'ISO 28460 ne s'applique pas ;

TDI RETE-GNL

Output T2.1.1 "Studio per un piano d'azione congiunto per il GNL in ambito portuale"



- ISO/TS, sur la distribution du gaz naturel liquéfié comme combustible marin (référence à l'ISO/TS 18683 de 2015) ;
- EN ISO, concernant des aspects techniques spécifiques tels que les exigences relatives aux équipements et systèmes de transfert de GNL (EN ISO 20519 de 2017) ;
- NF EN CEI et en particulier NF EN CEI 60079 de 2018 concernant les exigences générales pour la construction, les essais et le marquage des instruments et composants déjà utilisés en atmosphères explosives.

Le règlement API, en revanche, fixe des normes pour l'ensemble du secteur pétrolier et celles qui sont applicables au GNL concernent des questions d'une extrême importance, telles que :

- Les méthodes d'installation, de dimensionnement et de livraison des vannes ;
- Les composants d'une torche ;
- Les spécifications pour les pompes centrifuges, pour les compresseurs centrifuges et axiaux, pour les compresseurs à piston. pour le dimensionnement et la construction de réservoirs de type hors-sol et, enfin, pour les spécifications pour la conception et la construction d'échangeurs de chaleur à tubes de calandre.

La référence au Système national de protection contre l'incendie, dont l'activité est liée à l'élimination des décès, des blessures, des pertes matérielles et économiques dues au feu, à l'électricité et aux risques connexes, est due à la publication par ce dernier de normes particulièrement pertinentes pour l'industrie et destinées à réglementer les aspects liés au dimensionnement des réservoirs d'eau d'incendie, aux exigences minimales en matière de lutte contre l'incendie et de sécurité sur les installations de GNL et à la protection contre les pertes de vies et de matériel dans les zones des terminaux maritimes, des quais et des docks .

Enfin, les guides posés par divers organismes internationaux ont fourni diverses recommandations relatives à divers aspects de la gestion et de la sécurité du gaz naturel liquéfié.

#### **12.4. Les bonnes pratiques pour la réduction des risques et des impacts**

Dans le produit T2.4.4, le chapitre "Bonnes pratiques pour la réduction des risques et des impacts" énonce les principes généraux de sécurité et les recommandations à appliquer afin de réduire au mieux les risques et les impacts liés à l'utilisation du GNL, à travers les grands principes de localisation, les dispositions générales de sécurité, les dispositions de construction, les barrières techniques et les mesures organisationnelles.

##### **12.4.1. Grands principes de mise en œuvre**

En ce qui concerne l'installation des réservoirs de stockage de GNL, trois exigences principales doivent être respectées, à savoir la limitation des effets domino entre les différentes installations de GNL, l'impact sur le personnel et les locaux administratifs (salle de contrôle, atelier de maintenance) et les impacts à l'extérieur du site. En fait, les règles de l'ICPE pour le stockage du GNL définissent d'une part les distances de séparation entre les installations et les limites des sites et d'autre part les distances entre les installations elles-mêmes. Par exemple :

- en ce qui concerne les activités de stockage de GNL, l'ordonnance du 23/08/2005 relative aux activités de stockage de GNL dans des réservoirs en mer définit les distances minimales qui doivent exister non seulement entre la zone de stockage et les limites du site (15 m) et entre des zones de stockage séparées (10 m), mais aussi entre la zone de stockage et les parois d'un appareil de distribution de liquides ou de gaz inflammables, d'un ERP de catégorie 5, d'un stockage de matières inflammables, combustibles ou comburantes, des sorties ou ouvertures de locaux administratifs ou techniques (5 m).
- en ce qui concerne les activités de stockage de GNL, l'ordonnance du 07/01/2003 définit les distances minimales entre le dispositif de dosage ou de remplissage et un ERP de catégorie A 1 à 4 (17 m), un



ERP de catégorie A 5 (5 m), un bâtiment habité ou occupé par un tiers (17 m), les sorties ou ouvertures de locaux administratifs ou techniques (5 m) ainsi que les distances minimales entre le stockage de GNL et le stockage d'autres combustibles (6 m), une station-service (5 m) et l'ouverture d'un bâtiment (3 m)

- en ce qui concerne les activités de soutage de GNL, l'ordonnance du 30/08/2020 définit en revanche les distances minimales entre les parois de l'appareil de distribution nautique et les ERP de catégorie A 1 à 4 (20 m), ERP de catégorie A 5 (10 m), les lignes en propriété (13 m), un canal de communication public (7 m), les sorties ou ouvertures de locaux administratifs ou techniques (7 m), les autres équipements de distribution d'hydrocarbures liquides (7 m), le stockage de récipients à pression transportables (10 m), le stockage aérien d'hydrocarbures liquides (13 m).
- L'ordonnance du 03/08/2018, qui concerne la phase d'alimentation des générateurs utilisant des méthaniers pour l'électrification des navires à quai, définit les distances minimales entre les parois de l'appareil à combustion et les limites de propriété, une ERP de classe 1 à 4, un bâtiment ou une rue (20 m) et les installations utilisant des matériaux combustibles ou inflammables (10 m).

En plus des décrets réglementaires classiques, aux fins de la mise en œuvre et de l'exécution d'un projet lié à la préparation d'installations de GNL, certaines analyses de risques doivent également être effectuées, en particulier si l'installation est soumise à autorisation, bien que certaines activités ne soient pas encore réglementées. C'est pourquoi la bonne pratique consiste à suivre certaines phases précises pour déterminer la mise en œuvre d'un projet, à savoir la phase d'identification des zones disponibles et favorables à l'installation de la centrale, l'analyse de risque préliminaire visant à l'évaluation initiale des risques, l'analyse de risque détaillée sur des scénarios de projet représentatifs, y compris la modélisation des phénomènes dangereux pour déterminer l'étendue de la zone de sécurité et, enfin, la validation d'une zone donnée. Toutefois, en cas de non-application du règlement ICPE aux activités, les guides précisent également les distances minimales entre les réservoirs et entre les réservoirs et les lignes propriétaires, tandis que les guides consacrés aux opérations de transfert avec des bras de chargement ne prescrivent pas de distances de sécurité, mais des règles de conception et d'espacement entre chaque bras de transfert.

#### ***12.4.2. Grands principes de sécurité***

Les principes de sécurité pour les activités liées au GNL peuvent être distingués en mesures préventives visant à réduire la probabilité d'apparition des risques et en mesures de protection visant à atténuer les conséquences ou à réduire la gravité des risques pour les personnes, l'environnement et les biens (Tableau 84).



Tableau 84. Principes de sécurité pour le GNL

MESURES PRÉVENTIVES	MISURE DI PROTEZIONE
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aménagement de l'installation selon la réglementation en vigueur, les spécifications du projet, les règles et les bonnes pratiques reconnues</li> <li>- le respect des distances de sécurité entre les systèmes ou l'installation de séparations appropriées pour réduire les risques de propagation du feu et les effets domino</li> <li>- Séparation des matériaux inflammables/explosifs et combustibles</li> <li>- Limitation des sources d'inflammation, zonage ATEX, utilisation d'équipements électriques appropriés, ventilation des locaux, détection des gaz et des incendies</li> <li>- Limitation du trafic dans les zones opérationnelles, protection mécanique et gestion des SIMOP</li> <li>- Prendre en compte les risques liés à la perte d'utilisation</li> <li>- Prévention du risque d'erreur humaine par la formation, les systèmes de gestion de la sécurité, etc.</li> <li>- Maintenance préventive des installations et leur inspection pour prévenir les risques de dommages aux équipements</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitation des sources d'inflammation, des quantités de produits dangereux stockés et manipulés, des volumes potentiels de déversement et de la durée du déversement, des surfaces d'épandage et du confinement des liquides inflammables et des produits dangereux</li> <li>- Installation de systèmes automatiques et d'équipements manuels pour la lutte contre l'incendie et la protection passive</li> <li>- Déploiement de plans d'urgence, y compris l'installation d'équipements d'alerte et de voies d'évacuation.</li> </ul>

**12.4.3. Dispositions relatives à la construction et obstacles techniques**

En ce qui concerne les réservoirs de stockage de GNL, les règles de construction et les barrières techniques concernent les distances de sécurité, la résistance des réservoirs aux risques naturels et aux chocs, la protection contre le risque de dépression et de surpression, la surveillance de la température, la conception des conduites, les fuites, la détection des incendies et des gaz, le contrôle des fuites et la gestion des déversements, etc.

**12.4.4. Mesures organisationnelles**

Outre les barrières techniques physiques, des mesures organisationnelles sont également adoptées, telles que la formation du personnel aux activités de soutage et aux risques liés au GNL, la définition et l'application de procédures opérationnelles, d'urgence et d'évacuation, la gestion de la sécurité des installations, la mise en œuvre d'un plan de maintenance préventive des installations, la mise en place de systèmes d'alarme et de communication, etc.

**12.5. L'analyse des risques appliquée au cas de la corse**

En ce qui concerne le cas de la Corse, une analyse des risques HAZID (HAZard IDentification) a été effectuée pour identifier les dangers et les menaces potentiels qui peuvent survenir au cours des projets ou des activités) sur les méthodes de soutage STS, TTS et PTS. Les objectifs de cette analyse des risques sont d'identifier les dangers associés aux activités de soutage pour chaque type d'équipement, les causes / conséquences des événements potentiels liés à ces dangers et les barrières de sécurité (prévention et protection).

**12.5.1. Danger : soutage de GNL**

Parmi les dangers identifiés pour le soutage de type Ship To Ship, ce rapport identifie les problèmes liés à la citerne, tels que le basculement (inversion des couches de GNL, car elles ont des densités différentes), la perte de confinement, due à l'usure, la corrosion, la collision, etc, manque de pression, lié à des défaillances, PBU, etc. ; autres risques liés au système de transfert, comme le déchirement, causé, par exemple, par la dérive du bunker, la surpression, due à un coup de bélier, la défaillance de la pompe, et autres risques liés au navire, comme la dérive du navire due à la perte des amarres, les mauvaises conditions météorologiques, etc.



Parmi les risques identifiés dans la configuration de la technologie de soutage de type Truck To Ship, ce rapport identifie les problèmes liés aux réservoirs, tels qu'un incendie de tracteur dû à une panne électrique, un incendie externe dû à l'inflammation d'une fuite de GNL ; d'autres risques liés au système de transfert, tels qu'un déchirement, causé par exemple par un mouvement du camion ou du navire à ravitailler, une surpression, une panne de pompe, et d'autres risques liés au camion/citerne, tels qu'un mouvement du camion lui-même, etc.

En ce qui concerne les risques liés à l'option de soutage de type terminal ou Port To Ship, ce rapport identifie les problèmes liés à la citerne de type conteneur ISO, tels que la perte de confinement, due par exemple à un défaut de fabrication ou à une collision, etc, incendie externe dû à une fuite de GNL ; autres risques associés aux réservoirs de type C, tels que le surremplissage (en présence de plusieurs réservoirs) dû à une mauvaise configuration du circuit ; autres risques encore associés au réservoir de type conteneur plein, tels que la présence de GNL dans l'inter-cloison, due à un défaut à l'intérieur du navire ; autres risques associés au système de transfert de GNL, tels que déchirure, surpression, etc.

### 12.5.2. Exemple de zone de sécurité

Afin de mettre en œuvre les modèles relatifs aux phénomènes dangereux, il est nécessaire de déterminer l'étendue de la zone de sécurité requise pour les opérations de soutage de GNL. Afin de déterminer les zones de sécurité, il convient d'évaluer les distances des effets à la limite inférieure d'explosivité (LEL) des différents cas considérés (Tableau 85).

Tableau 85. Modélisation - Distances de sécurité

Scénario	Conditions météo	Distance par rapport à LEL
Rupture du tuyau flexible 50 mm	3F	80 m
	5D	105 m
	8D	65 m

Ces distances de sécurité permettent de donner un ordre de grandeur de la taille que peut avoir la zone de sécurité sans tenir compte d'une barrière de sécurité, grâce à quoi, avec l'installation de dispositifs d'arrêt d'urgence, les distances de sécurité peuvent être considérablement réduites. En outre, en fonction du scénario qui peut être retenu dans l'analyse des risques de l'équipement et des caractéristiques de l'équipement (température, pression, diamètre, etc.), les distances de sécurité sont considérablement modifiées.

## 12.6. Recommandations de bonnes pratiques (contribution du CCIVAR/TECHNIP FMC)

### 12.6.1. Conduites de raccordement pour le stockage sous pression et conduites de raccordement pour les entrepôts non pressurisés

Le partenaire P5 dans le produit T2.4.4 a identifié les spécificités et les mesures de bon standard, à la fois pour les lignes de connexion de stockage sous pression et pour les entrepôts non pressurisés, en faisant une subdivision en 3 moments définis : remplissage, équilibrage et transfert. En particulier, le Tableau 86 montre les différentes phases, en maintenant la division entre les entrepôts sous pression et les entrepôts non pressurisés

Tableau 86. Subdivision progressive des différents schémas de connexion.

	<i>Linee di collegamento di stoccaggio a pressione</i>	<i>Linee di collegamento per magazzini non pressurizzati</i>
<i>Fase di riempimento</i>	Nella Stazione Fabbrica, i serbatoi hanno una doppia alimentazione: in fase liquida e in fase gassosa. Questo dispositivo permette all'autista dell'autocisterna di regolare la pressione finale del serbatoio dopo il riempimento. Nella Stazione Porto il riempimento viene effettuato solo attraverso la fase di gas del serbatoio.	Per motivi di sicurezza, tutti i collegamenti vengono effettuati dalla parte superiore del serbatoio o dei serbatoi. Non ci sono penetrazioni di linea o altri inserti sui lati o sul fondo del serbatoio. I serbatoi hanno una doppia alimentazione: in fase gassosa o liquida (con una specifica linea che scende dall'interno, dall'alto verso il basso del serbatoio) per evitare fenomeni di stratificazione del GNL.
<i>Fase di bilanciamento</i>	Se più serbatoi sono installati in parallelo, si raccomanda di collegare tra loro i serbatoi per le parti liquide e vaporose, in modo da bilanciare i loro livelli di liquido e di pressione. Il progetto deve consentire l'uso di tutti i serbatoi come un unico serbatoio, tuttavia, per motivi di sicurezza, deve essere possibile, se necessario, isolare ogni serbatoio singolarmente.	Se più serbatoi sono installati in parallelo, si raccomanda di collegarli tra loro per la parte di vapore, in modo da bilanciare il loro livello di pressione. D'altra parte, per motivi di sicurezza, ogni serbatoio deve poter essere isolato individualmente, se necessario.
<i>Fase di trasferimento</i>	Per qualsiasi linea dalla quale si determina la velocità di trasferimento (piuttosto bassa nel contesto di una stazione "Fabbrica") e regolare, si può raccomandare l'installazione di un limitatore di flusso sul punto di intercettazione.	È necessario installare pompe sommerse per estrarre il GNL dall'interno del serbatoio. Ogni pompa è installata in un tubo aperto sul fondo del serbatoio e collegata in alto alla linea di trasferimento del GNL. Il serbatoio può essere dotato di più pompe, se necessario, con altrettanti tubi all'interno.

## 12.6.2. Chaîne de sécurité / MMR dite instrumentée

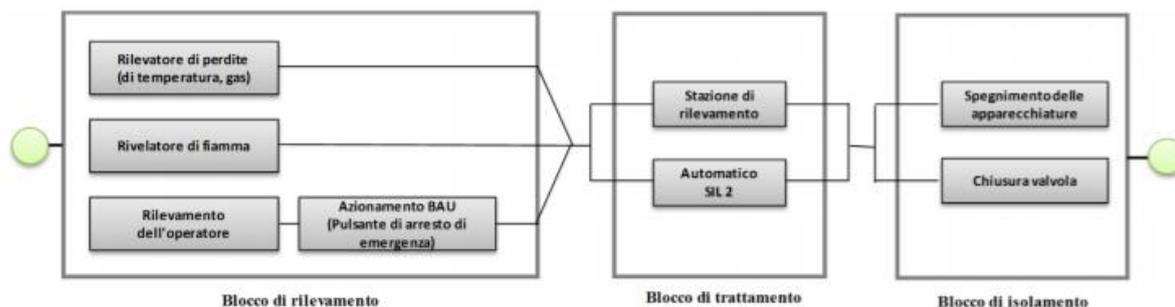
### 12.6.2.1. Présentation générale

Les MMR instrumentées correspondent la plupart du temps à une chaîne de 3 "blocs" :

- le bloc "détection", y compris la détection par un opérateur ;
- le bloc de traitement ;
- bloc "action d'isolement/sécurité".

Une chaîne de ce type (instrumentée), destinée à réduire les conséquences d'un sinistre (potentiellement suivi d'un incendie), est décrite dans la figure ci-dessous (Figure 66). Comme l'objectif est de réduire les conséquences d'un événement accidentel, ces RMM sont souvent aussi appelés RMM d'atténuation.

Figure 66. Architecture des chaînes de sécurité instrumentées ou MMR



Les paragraphes suivants décrivent chaque bloc en détail de manière à inclure un examen des recommandations en matière d'équipement de sécurité.



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**TDI RETE-GNL**

### 12.6.2.2. *Propriétés*

Quelle que soit la technologie des éléments de chaque bloc, toutes les chaînes peuvent être caractérisées par 3 propriétés ou caractéristiques, à savoir l'efficacité, la fiabilité et le temps de réponse.

### 12.6.3. *Détection*

Les capteurs ayant des fonctions de sécurité (pression, niveau de GNL, etc.) doivent être indépendants des séquences de mesure pour fonctionner. Les mesures et les alarmes doivent être transmises au site de contrôle. En outre, les alarmes doivent également être transmises à l'opérateur qui peut être sur place ou sur un site distant. L'entretien des équipements doit pouvoir être effectué pendant le fonctionnement normal de l'entrepôt. Toutefois, lorsque le démantèlement de l'entrepôt est nécessaire, l'instrumentation doit avoir une redondance suffisante pour une intervention sûre. En outre, avant d'examiner chaque type de détecteur, il convient de faire la distinction entre le stockage sous pression et le stockage sans pression.

#### 12.6.3.1. *Détection/mesure du niveau*

En ce qui concerne les réservoirs sous pression, il convient de noter que, comme moyen de protection contre le risque de "débordement", il est recommandé d'utiliser des dispositifs de mesure du niveau de liquide indépendants et très précis, plutôt qu'un système de débordement.

Les réservoirs doivent être équipés d'instruments permettant de surveiller le niveau de GNL et de prendre les mesures de prévention/éviter (débordement) nécessaires. En particulier, ces instruments doivent pouvoir mesurer en continu le niveau de liquide grâce à un système de fiabilité approprié (équipé de deux alarmes, une pour les niveaux élevés et une pour les niveaux très élevés) et avoir une détection de niveau très élevé basée sur des instruments fiables adéquats, indépendants du système de mesure de niveau précédent (en cas d'activation, ils doivent fermer les vannes de remplissage sur les lignes d'alimentation et de recyclage).

Les mêmes recommandations s'appliquent aux navires non pressurisés et aux navires pressurisés. Cependant, en raison de la faible résistance à la pression, l'analyse des risques peut conduire à un doublement indépendant du système de mesure du niveau.

#### 12.6.3.2. *Détection/mesure de la pression*

L'appareil à pression doit être équipé d'une instrumentation, installée en permanence aux endroits appropriés, permettant de surveiller la pression en continu, même en cas de pics trop élevés, au moyen d'une instrumentation indépendante des systèmes de mesure continue de la pression (elle doit activer l'arrêt des opérations en cours et des équipements).

Les recommandations sont les mêmes pour les réservoirs non pressurisés que pour les réservoirs pressurisés. En outre, il est nécessaire d'installer une mesure de la pression différentielle entre l'espace d'isolation et l'intérieur du boîtier primaire lorsqu'ils ne sont pas en communication (des capteurs de pression différentielle ou des capteurs de pression séparés doivent être installés dans l'espace d'isolation) et une détection de "pression trop basse" au moyen d'une instrumentation indépendante des systèmes de mesure de pression continue (elle doit activer l'arrêt de la machine et l'injection automatique de gaz de service).

#### 12.6.3.3. *Détection/mesure de la température*

Un réservoir non pressurisé doit être équipé d'instruments installés en permanence à des endroits appropriés pour mesurer la température du liquide à différentes hauteurs, en soulignant que la distance verticale entre deux capteurs de température consécutifs ne doit pas dépasser 2 m, et la phase gazeuse.



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



#### 12.6.3.4. Détection/mesure LTD

Pour les réservoirs non pressurisés, la température et la densité du GNL doivent être mesurables sur toute la hauteur du liquide. L'instrument dit LTD ("*Level, Temperature, Density*") doit également fournir le profil de température et de densité du GNL dans le réservoir, en fonction du niveau. En outre, cet instrument est utilisé pour détecter la formation de couches de GNL et empêcher le renversement qui en résulte.

#### 12.6.3.5. Détection des fuites et des incendies

Parmi les différents types de détecteurs adaptés aux éventuelles pertes de GNL sur les équipements (détecteurs de terrain ou d'environnement) et les pipelines (détecteurs en ligne), ce rapport en distingue plusieurs. En ce qui concerne les détecteurs sur les zones/équipements, ces zones sont systématiquement équipées de 3 types de détecteurs : capteurs catalytiques ("*explosimètre*") ou capteurs ponctuels IR ; capteurs à basse température et détecteurs de flamme UV/IR ou IR3. Dans certaines zones particulières (zone de confinement, surveillance du périmètre, etc.), des capteurs infrarouges peuvent être utilisés. En ce qui concerne les détecteurs de gazoducs, il est possible de les équiper de fibres optiques pour détecter une perte due à la chute de température associée à un flux de GNL très froid. Les gazoducs transportant du GNL à basse pression ont une seconde détection par des capteurs catalytiques ou IR installés dans les compartiments du gazoduc lorsqu'ils existent. Aux points uniques tels que les croisements de routes, les pipelines à double enveloppe sous vide sont équipés d'un capteur de pression pour la détection des fuites. Le nombre et la position des détecteurs doivent faire l'objet d'une étude spécifique, car ils doivent être installés dans les zones de chargement/déchargement, dans l'entrepôt, et avec les équipements de traitement appropriés (réchauffeurs, échangeurs de chaleur, etc.).

#### 12.6.4. Traitement

En détail, le traitement peut être : l'exclusion automatique des alarmes des détecteurs de fuites ou de flammes et de certains détecteurs d'anomalies, ou des opérateurs qui décident des actions à entreprendre.

Dans ce contexte, le nombre et la localisation des BAU doivent être étudiés avec au moins des BAU dédiés aux stations de transfert, dans l'entrepôt, près de l'unité qui regroupe les équipements pour assurer le refroidissement du GNL et à proximité des bureaux opérationnels.

Par conséquent, qu'un traitement soit automatisé ou basé sur les décisions des opérateurs, il doit être défini à l'avance, en tenant compte des mesures d'urgence les plus appropriées. Ils peuvent ensuite être utilisés comme réglages de sécurité partiels, lorsqu'ils n'agissent que partiellement ou comme une fonction partielle des installations. En ce qui concerne les unités de traitement, deux types sont possibles : une station centrale de détection ou un système de sécurité automatisé. Si l'analyse de risque montre la nécessité de 2 MMR indépendants "détection-traitement-isolation" pour exclure un scénario, il est nécessaire d'avoir ces 2 unités en parallèle. Sinon, lorsque, par exemple, des libérations prolongées sont acceptées, une unité suffit. PLC est au niveau SIL "2" afin de ne pas pénaliser la fiabilité de l'ensemble de la chaîne.

##### 12.6.4.1. Traitement des événements accidentels sur les méthaniers

Pour un poste «porte», une interface avec le méthanier doit être envisagée. Les mesures de sécurité associées aux transferts doivent être conçues avec une station de déchargement équipée de vannes d'arrêt d'urgence télécommandées, un câble de communication / UA (tel que recommandé par le SIGTTO et exigé par les codes et normes) entre le pétrolier et la station pour activer un arrêt d'urgence si nécessaire et le système «break-away» sur les flexibles ou PERC sur les bras. Les arrêts d'urgence du méthanier et des bras ont 2 niveaux d'action en fonction de l'ampleur de la déviation / anomalie détectée.



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



### *12.6.5. Systèmes d'action d'urgence*

Les systèmes d'action d'urgence désignent les dispositifs utilisés pour sécuriser les installations en fermant les vannes d'arrêt, en arrêtant les pompes de transfert, les compresseurs, etc. En général, et à l'instar de la situation d'instrumentation, le système d'action d'urgence doit être distingué du système de surveillance de processus.

#### *12.6.5.1. Organes d'isolement*

Les vannes actionnées par des arrêts d'urgence ont des caractéristiques fondamentales qui doivent être vérifiées avant l'installation et le fonctionnement, c.-à-d :

- type d'instrument ;
- la motorisation (par exemple électrique ou pneumatique) ;
- sécurité positive : la vanne se déplace en position d'isolement en cas de fuite de l'actionneur ;
- sécurité incendie (contrôle) : la vanne soumise à un incendie de GNL conserve sa capacité de contrôle pendant un certain temps ;
- Sécurité incendie (étanchéité) : la vanne soumise à un incendie de GNL conserve son étanchéité pendant un certain temps.

Lorsque le site le permet, les vannes d'isolement sont actionnées pneumatiquement pour faciliter la sécurité positive (la vanne a une position de sécurité). Le gaz naturel (alors appelé "gaz de service") peut être utilisé pour motoriser les vannes pneumatiques.

Parmi les dispositifs d'isolement, les dispositifs suivants sont également mentionnés :

- les raccords "break-away" ou "flip-flap", montés sur les tuyaux (conçus pour se rompre en cas de traction excessive) ;
- le "PERC", c'est-à-dire un dispositif hydraulique qui permet de déconnecter rapidement un bras de charge sur ordre de l'opérateur en cas de panne de courant ou lorsque l'enveloppe de fonctionnement d'un bras de charge est dépassée.

#### *12.6.5.2. Dispositifs de contrôle de la haute pression et de la basse pression*

Comme la pression des réservoirs doit être maintenue entre les valeurs de fonctionnement autorisées, en fonctionnement nominal, elle est contrôlée au moyen de vannes automatiques, qui permettent d'évacuer le gaz (si la pression est trop élevée) ou de le fournir. En fonctionnement nominal (en dehors de la situation de protection finale), la dispersion de la charge gazeuse ne peut être libérée dans l'atmosphère que lors d'épisodes très occasionnels. Les volumes de gaz émis dans l'atmosphère doivent être réduits autant que possible. La dispersion de la charge dans l'atmosphère n'est acceptable que pour les petites installations (type d'installation). Les grandes installations devraient envisager des dispositifs tels que:

- le déchargement de la charge en envoyant du gaz aux réseaux ou aux utilisateurs ;
- le refroidissement de la phase gazeuse (par exemple au moyen d'un échangeur d'azote liquide) ;
- refroidissement de la phase liquide (par exemple, cycle de Brayton).

En outre, toujours en ce qui concerne les situations d'urgence, lorsque la pression devient excessive, des soupapes de sécurité ou éventuellement des disques de rupture sont implantés pour évacuer le gaz par



**Interreg**



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**TDI RETE-GNL**

évaporation, mouvement, flash, changements de pression, recirculation à haut débit d'une pompe, débordement dans l'espace intermédiaire et renversement.

Le réservoir doit comporter au moins deux soupapes de surpression qui peuvent libérer du gaz directement dans l'atmosphère, sauf lorsque l'émission de gaz en cas d'urgence conduit à une situation inacceptable. Il est également possible d'installer une seule soupape de sécurité et un seul disque de rupture (au lieu des deux soupapes). Pour minimiser les ouvertures des soupapes, ou la rupture des disques, il est recommandé de doter le système de contrôle d'une soupape de purge qui réduit la pression avant d'ouvrir les soupapes.

Dans le cas des appareils à basse pression, le gaz d'alimentation peut être généré en vaporisant le GNL par une unité PBU (accumulation de pression). Le vaporisateur est installé à un point d'arrêt de la ligne de remplissage avec un retour de la phase gazeuse du réservoir.

#### ***12.6.6. Systèmes de collecte d'air***

En cas de surpression dans les réservoirs et donc en cas d'évacuation de gaz par un système de contrôle ou par des vannes, il est nécessaire d'étudier le mode de purge le plus approprié. Si des gouttelettes de liquide sont présentes dans le flux de gaz, le système de collecte doit être capable de les séparer et de ne pas les envoyer dans l'atmosphère avec le gaz. Il est donc nécessaire d'installer des systèmes de séparation liquide-gaz en amont de l'événement, tels qu'un réservoir de séparation.

Le système de collecte peut consister en un seul événement commun (ou torche) ou en des événements plus petits répartis sur l'ensemble du site. Dans les deux cas, son orientation ou ses orientations doivent répondre aux fonctionnalités et objectifs mentionnés ci-dessus. Par conséquent, aucun élément susceptible de provoquer un blocage involontaire ne peut être installé entre le dernier dispositif de sécurité (généralement une vanne) et la sortie de l'événement (ou de la torche).

#### ***12.6.7. Systèmes de collecte des pertes***

##### ***12.6.7.1. Fonctions et objectifs***

Le système de récupération des fuites est conçu pour retenir le GNL localement à la rupture ou dans un endroit séparé. Les objectifs de sécurité sont doubles : réduire l'étendue d'une nappe et donc la taille d'un nuage explosif, et empêcher la formation d'un feu de flaque qui génère un écoulement intense et prolongé sur une capacité de GNL (cuves, citerne, etc.). Le dimensionnement d'un tel système nécessite la référence à des scénarios de perte de phase liquide et la prise en compte des conditions et du temps d'isolement pour ces scénarios (c'est-à-dire le temps de réponse du MMR). Ces éléments peuvent être extraits de l'"Étude des risques", telle qu'elle est établie en France. En particulier, les fuites doivent être examinées à travers toutes les prises qui ne peuvent pas être isolées par 2 dispositifs d'isolation : fiche et/ou vanne de commande à distance. La fréquence de ces fuites peut en effet être suffisamment élevée pour créer, avec la gravité, un risque inacceptable.

##### ***12.6.7.2. Zones de reprise***

Les zones de récupération doivent être conçues sur la base de zones bétonnées, entourées de canaux en béton, ou de réservoirs en béton armé, en ligne avec l'équipement principal et avec des pentes suffisantes vers les canaux. Les conduits peuvent être revêtus de panneaux légers à la fois pour limiter l'évaporation et pour éviter une situation de propagation de la flamme dans un environnement confiné et allongé qui favorise de fortes accélérations de la flamme et suite à des explosions avec de fortes surpressions.



*12.6.7.3. Capacité de confinement*

Les capacités de confinement ou les réservoirs de confinement doivent le plus souvent être compensés afin que, lorsqu'ils s'enflamment, les flux de chaleur associés à l'incendie de la flaque n'affectent pas les équipements environnants en les chauffant dangereusement.

Par la suite, les capacités devraient être dimensionnées en tenant compte de la quantité de GNL qui pourrait accidentellement fuir pour être extraite par des études de risque ou de sécurité. En particulier, le taux d'évaporation de chaque flaque peut être réduit au minimum grâce à un dispositif de type écran flottant. La nécessité ou non de ce type d'équipement dépend du contexte et des résultats des études de danger.

Dans le cas des installations de stockage non pressurisées, les rejets de GNL sont a priori les plus susceptibles de donner lieu à des applications terrestres. Dans ce contexte, la meilleure technologie consiste à positionner les pipelines, et en particulier les longues conduites reliant les stations de transfert des navires à l'installation de stockage, dans un "pipeline", avec des parois latérales en béton, situé au-dessus ou dans le sol.

*12.6.8. Sistema di protezione antincendio*

Le Tabella 87 montre les fonctions qui peuvent être assurées par un système de protection contre l'incendie (mais parfois aussi contre les explosions) ; le type d'équipement qui remplit ces fonctions et enfin les observations/informations.

*Tabella 87. Funzioni di protezione antincendio*

<b>FONCTIONS</b>	<b>EQUIPEMENT</b>
Dilution/dispersion des nuages	Rideau d'eau
Prévention de l'inflammation des réservoirs de GNL	Déversoir en mousse
Mélange de feu dans le bassin GNL	Déversoir en mousse
Extincteurs pour les navires-citernes	Extincteur mobile
Refroidissement des capacités	Pulvérisation d'eau
Protection du bureau opérationnel, de la salle d'instrumentation	Pulvérisation d'eau
Protection des installations proches	Rideau d'eau et pulvérisation d'eau

*12.6.9. Effets domino*

Une des fonctions importantes du système de lutte contre l'incendie est certainement d'éviter l'apparition de divers phénomènes dangereux, plus souvent appelés "effets domino". Dans la pratique, le contrôle des effets domino est souvent garanti par des choix d'emplacement ou des barrières telles que, par exemple, un mur de protection. Il est nécessaire de considérer de manière "conventionnelle" les impacts entre deux installations dangereuses, mais aussi entre une installation dangereuse et des éléments sensibles tels que, par exemple, les principaux moyens de protection contre l'incendie, les lieux accueillant les opérateurs et les télécommandes des moyens de sécurité.