

Report Activitiés T1.3 Report T1.3.1 Cartographie et base de données de la demande de GNL.

L'étude suivante a été développée dans le cadre du projet SIGNAL - Stratégies transfrontalières pour l'exploitation du Gaz Naturel Liquéfié (GNL), cofinancé par le programme INTERREG Maritime Italie-France 2014-2020.

Informations sur le document	
Code livrable	T1.3.1
Titre livrable	Cartographie et base de données de la demande de GNL
Code activité	T1.3
Titre activité	Besoins énergétiques portuaires
Code composant	T1
Titre composant	Carte du réseau d'approvisionnement maritime
Responsable de la rédaction du document	UNIGE
Version	02
Date	31/03/2020

Version	Date	Auteur(e)	Description des changements
01	08/02/2019	Ermanno Locascio	
02	31/03/2020	Federico Silenzi	Généralisation et validation des outils d'analyse proposés, contrôle de cohérence des résultats



Ce(tte) œuvre est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions 4.0 International ([CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/))

Sommaire

Index des images	5
Index des tableaux	6
Avant-Propos	7
Résumé	8
Objectifs de l'étude	9
Approche méthodologique	9
Méthodologie de recherche	11
Étude de cas : Zone portuaire de Livourne	12
Relevé des infrastructure et industries	13
Infrastructure électrique	13
Infrastructure de distribution du gaz naturel	13
Vue d'ensemble des principales industries présentes dans la zone portuaire	13
Principaux projets de recherche	15
Définition des zones ciblées	16
Types d'utilisateurs et besoins énergétiques	16
Cartographie	18
Données sur la consommation énergétique présentes dans la littérature récente	23
Exemple d'application : Zone 1, Terminal Darsena Toscana	24
Hypothèse de calcul	25
Évaluation des besoins énergétiques actuels et ICP	25
Base de données Descripteurs et ICP	30
Évaluation de la demande actuelle pour le port de Livourne	34
Évaluation de la demande d'énergie potentielle	34
5. Définition des orientations générales	38
6. Discussion et conclusions	40
Bibliographie et sitographie	40
Partie 2 – Extension de la zone d'analyse	42
Zone portuaire de Cagliari	43
Zone portuaire de Gênes	46

Zone portuaire de Bastia	50
Zone portuaire de Nice	52
Zone portuaire de Toulon	54
Zone portuaire d'Oristano	57
Zone portuaire de Portoferraio	60
Vue d'ensemble	62
Conclusions	65
Precisions	67

Index des images

Figure 1: Processus de data gathering & tuning de type "Cycle de Deming", PDCA.	10
Figure 2: Méthodologie d'analyse.	12
Figure 3: Macro catégories utilisateurs onshore.	17
Figure 4: Zones d'intérêt - Port de Livourne.	19
Figure 5. Répartition de la consommation agrégée par terminal multipurpose, électrique + gasoil.	26
Figure 6. Répartition de la consommation d'électricité par TDT, y compris la réfrigération conteneurs et la manutention avec grues électriques.	27
Figure 7. Demande d'énergie primaire pour les bureaux et l'éclairage des aires de manœuvre (tours d'éclairage).	27
Figure 8. ZONE 1, Terminal Darsena Toscana. Répartition en pourcentage de la demande totale d'énergie primaire (électricité + gasoil en kWh équivalents).	28
Figure 9. ZONE 1, Terminal Darsena Toscana. Évaluation de la demande annuelle en énergie primaire par type (<i>kWhanno</i>).	28
Figure 10. ZONE 1, Terminal Darsena Toscana. Évaluation de la demande spécifique actuelle d'énergie primaire par type (<i>kWhmzona2anno</i>).	29
Figure 11. ZONE 1, Terminal Darsena Toscana. Évaluation de la demande annuelle équivalente (théorique) de GNL par type (m3 @ conditions cryogéniques)	29
Figure 12. Analyse de sensibilité pour différents scénarios génériques de la zone concernant le port de Livourne.	36
Figure 13. Méthodologie d'évaluation des besoins énergétiques portuaires onshore.	39
Figure 14. Cagliari, port.	43
Figure 15: Gênes, port.	46
Figure 16: Bastia, port.	50
Figure 17: Nice, port.	52
Figure 18: Nice, zone limitrophe aéroport.	52
Figure 19: Toulon, port.	54
Figure 20: Oristano, port.	57
Figure 21: Portoferraio, port.	60
Figure 22: Sous-total de la demande actuelle d'électricité, pour l'ensemble de la zone ciblée.	62
Figure 23: Demande totale d'énergie actuelle (électrique + thermique), pour l'ensemble de la zone ciblée.	63
Figure 24: Évaluation de la demande prospective totale d'énergie (électrique) pour différents scénarios et interventions de requalification.	64

Index des tableaux

Tableau 1: DESCRIPTEURS (a) Cluster & ICP (b).	11
Tableau 2: Principales industries présentes dans la zone portuaire de Livourne	14
Tableau 3. Besoins énergétiques nets selon l'usage prévu.	17
Tableau 4: Base de données zones ciblées	22
Tableau 5: Sources de données relatives à la demande/consommation énergétique disponibles dans la littérature récente.	23
Tableau 6. Équipement du Terminal Darsena Toscana.	24
Tableau 7. Facteurs de conversion pour l'évaluation des besoins en énergie primaire.	25
Tableau 8. Base de données Descripteurs et ICP.	32
Tableau 9: Interventions de reconversion possibles (retrofitting)	35
Tableau 10: Présentation de l'analyse de sensibilité	37
Tableau 11: Demande actuelle d'énergie primaire, port de Cagliari.	45
Tableau 12: Évaluation de la demande actuelle d'énergie primaire, port de Gênes (les espaces verts ont été validés et dûment comparés à la demande totale d'énergie primaire + électricité + gasoil + essence. Pour les zones signalées en orange, aucune information sur la consommation agrégée ne nous est parvenue).	49
Tableau 13: Besoins actuels en énergie primaire, port de Bastia.	51
Tableau 14: Besoins actuels en énergie primaire, zone portuaire de Nice.	53
Tableau 15: Besoins actuels en énergie primaire, zone portuaire de Toulon.	56
Tableau 16: Besoins actuels en énergie primaire, zone portuaire d'Oristano.	59
Tableau 17: Besoins actuels en énergie primaire, zone portuaire de Portoferraio..	61

Avant-Propos

Les territoires impliqués dans le programme transfrontalier sont caractérisés par une commune insuffisance portuaire en termes de disponibilité de services d'avitaillement en GNL et de sites de stockage permettant de réapprovisionner navires et équipements de manutention à terre en zones portuaires et équipements de transport terrestre. Pour déployer de nouvelles infrastructures, il est utile de procéder à une analyse de la consommation énergétique des zones dans lesquelles elles seront implantées.

Le développement de stratégies et de plans énergétiques envisageant une utilisation rentable du GNL dans les zones portuaires repose sur la quantification préalable de la consommation énergétique, actuelle et prospective, et sur la définition d'hypothèses futures incluant l'intégration partielle ou totale, ainsi que le remplacement des sources d'énergie primaire actuelles par une économie basée sur l'exploitation de la disponibilité du GNL, en zone portuaire ou limitrophe.

L'une des raisons qui justifie ce type d'étude est liée au caractère aléatoire et discontinu de la demande de services d'avitaillement en GNL, qui pourrait conduire à surdimensionner l'infrastructure dédiée et, en même temps, à opérer avec un faible coefficient d'utilisation dans le temps. Dans ce cas, il est possible d'atténuer l'effet produit par un seul utilisateur, très discontinu, en l'insérant dans un réseau plus vaste d'utilisateurs pouvant exploiter l'offre pendant les périodes restantes.

Le projet SIGNAL veut combler ces insuffisances par le développement de plans et de stratégies capables de favoriser la mise en œuvre de la Directive européenne 2012/33, tout en accompagnant les territoires caractérisés par des réseaux de méthanisation limités ou absents afin de saisir l'opportunité offerte par le GNL et réduire la pollution atmosphérique provenant des industries et des transports dans les territoires insulaires concernés par l'intervention.

Il est en effet évident que limiter la définition des plans et de la stratégie commune aux seules zones et activités portuaires sans prendre en considération un système intégré prévoyant également la planification d'autres usages industriels et civils concernant les territoires transfrontaliers, notamment pour les systèmes insulaires, est restrictif et peu stratégique pour poursuivre la réalisation des objectifs économiques, environnementaux et sociaux prévus par la stratégie "Europe 2020".

Conformément à la "Stratégie de l'UE pour le gaz naturel liquéfié (COM 2016/49)" et aux engagements internationaux pris lors de la Conférence de Paris sur le climat, le projet SIGNAL prévoit la définition de plans et de stratégies communs pour l'utilisation du GNL dans les ports et la navigation maritime, ainsi que pour d'autres usages civils et industriels. Le projet pourra ainsi contribuer à la mise en œuvre et à la capitalisation du "principe directeur" de la politique de cohésion européenne, soit activer des processus de coopération entre les territoires afin de contribuer à l'amélioration de leur interconnexion et à la durabilité des activités portuaires dans les régions les plus défavorisées.

L'élément novateur du projet réside dans l'approche méthodologique visant à définir les plans et les stratégies, ainsi que dans le rôle assigné aux ports commerciaux en tant que ports « hub » pour l'utilisation du GNL:

- ports comme points d'approvisionnement maritime du réseau GNL;
- ports comme lieu de stockage et d'utilisation directe du GNL;
- ports comme "nœuds" et portes d'accès pour l'utilisation du GNL dans les zones intérieures (ce dernier profil est particulièrement important pour la Sardaigne dont le territoire ne dispose pas d'un réseau de distribution de gaz naturel).

Dans la zone de coopération transfrontalière, la planification d'un système d'unités de stockage et de regazéification en zone portuaire et côtière sera la base de développement stratégique du système de distribution et d'utilisation du GNL.

Résumé

L'évaluation des besoins en énergie primaire en zone portuaire est une information de base pour définir une stratégie d'intégration du gaz naturel liquéfié en tant que vecteur énergétique alternatif. La complexité et la dimension particulière des zones portuaires rendent cependant les processus de conduite d'audit énergétique extrêmement complexes d'un point de vue technique et de gestion. Dans ces zones, la situation est d'autant plus complexe que certains acteurs publics et privés ont des besoins énergétiques spécifiques et peuvent recourir à différentes stratégies d'approvisionnement. Plus précisément, le problème principal réside dans la difficulté à disposer d'informations ponctuelles, ainsi que dans les ressources et le temps nécessaires à la réalisation d'un processus de conduite d'audit détaillé. De ce contexte émerge donc la nécessité d'adopter une stratégie d'analyse différente, capable de traiter les problèmes inhérents à la nature particulière des sites en question. Pour ce faire, cette étude définit une méthodologie flexible et itérative de gestion et de conduite du processus d'analyse énergétique permettant d'affiner progressivement la justesse et la qualité des évaluations de la consommation énergétique. Concrètement, cette méthodologie vise à identifier des mécanismes de gestion de nature heuristique permettant donc de réduire systématiquement, à travers les différentes phases du processus, les limites techniques et l'inévitable incertitude que comportent les évaluations et qui pourraient affecter l'ensemble du processus de project management. La conception de cette méthodologie est réalisée à travers une approche de type *bottom-up*, à partir d'une étude de cas caractéristique: la zone portuaire de Livourne. L'analyse détaillée de cette étude de cas pertinente permet ensuite de concevoir les outils nécessaires pour extrapoler les valeurs quantitatives de la demande en énergie primaire pour toutes les zones ciblées. En conclusion, le résultat essentiel de la première partie de cette étude est la création d'une base de données d'informations sur les différents types

de consommation énergétique en zone portuaire comme outil méthodologique pour soutenir les activités du projet SIGNAL.

Objectifs de l'étude

Dans une perspective d'intégration du gaz naturel liquéfié (GNL) comme vecteur énergétique significatif dans les zones portuaires, l'analyse des besoins en énergie primaire et leur segmentation respective est une activité clé pour réaliser un processus de requalification énergétique optimal. Pour cette raison, l'objectif de ce produit est de concevoir une méthodologie d'analyse innovante permettant d'évaluer et de segmenter les besoins énergétiques de la zone appartenant à l'État (ci-après dénommée "onshore") et la gestion contrôlée des incertitudes. Plus précisément, **la zone portuaire onshore se réfère à toutes les activités indirectement liées au secteur maritime : éclairage public, bureaux, entrepôts**, à l'exception des activités de manutention ou de réfrigération conteneurs (ex. : reach stackers et grues mobiles, etc.) qui déterminent la consommation attribuable aux activités du terminal examinées successivement et incluses dans l'évaluation de la répartition de la consommation. Quant aux **activités de production et aux processus industriels complexes**, on peut les évaluer approximativement comme étant la différence entre la consommation globale et celle propre aux bâtiments (résidentiels et bureaux) et entrepôts. Toutefois, chaque processus industriel nécessitera d'une analyse dédiée, en cas de besoin d'informations énergétiques plus fouillées.

La principale caractéristique de cette méthodologie est la flexibilité et la rapidité d'utilisation ainsi que la possibilité de déterminer de manière quantitative les besoins énergétiques portuaires. De plus, cette méthodologie prévoit une méthode efficace de gestion des incertitudes, basée sur la réduction systématique de la valeur conjecturale intrinsèque et inévitable, typique d'un processus de conduite d'audit énergétique détaillé à grande échelle. L'objectif final de cette étude est donc de définir les outils techniques (Descripteurs et Indicateurs clés de performance) nécessaires à l'extrapolation des informations énergétiques pour l'intégration du GNL en zone portuaire, pour toute la zone examinée.

Partie 1 - "Méthodologie et outils d'évaluation des besoins onshore"

Approche méthodologique

La morphologie particulière et hétérogène des infrastructures portuaires fait du processus de segmentation des besoins énergétiques des zones portuaires un objectif technique et d'ingénierie ambitieux. De fait, ces zones sont typiquement caractérisées par différents types d'activités allant des processus simples directement liés au transport maritime (bureaux, terminaux pour passagers, etc.) avec différentes caractéristiques d'exploitation (pensez par exemple aux différences existantes en termes d'exploitation et de consommation énergétique entre terminaux tels que les terminaux multipurposes ou terminaux pour passagers ou terminaux conteneurs/réfrigérants, etc.) jusqu'aux procédés industriels technologiquement complexes. Pour cette raison, une approche d'étude et

d'analyse de type "one-shot" (unique, linéaire et séquentielle) pourrait se révéler peu efficace pour atteindre ces objectifs, et ce pour des raisons principalement attribuables à deux aspects distincts : la disponibilité, précision et fiabilité de l'information, et la coordination, collaboration et participation des parties prenantes. De ce contexte, clairement caractérisé par la nécessité de gérer des niveaux élevés d'incertitude, émerge spontanément la nécessité d'adopter une approche d'étude analytique et flexible prévoyant une stratégie de validation et d'ajustement des résultats de type continu/itératif (PDCA, figure 1). Il convient de noter qu'une approche plus dynamique permettrait, d'un point de vue global, pour l'ensemble du processus de project management visant à l'utilisation du GNL en zones portuaires, de lever en partie le ralentissement dû aux activités d'audit préliminaire, grâce à l'intégration contrôlée du risque inhérent à la précision des résultats dans le processus même. En conclusion, l'élaboration de la méthodologie d'évaluation préliminaire des besoins énergétiques portuaires, objet de ce document, a été élaborée en tenant compte de ces points critiques intrinsèques. Plus précisément, cette étude spécifique identifie le besoin d'utiliser une méthodologie d'analyse et de développement partagée entre partenaires de recherche et parties prenantes (stakeholders). Dans ce cas précis, la création d'une base de données d'outils de benchmarking et d'un système de gestion et d'implication des parties prenantes (database manager) permettant d'activer un processus coopératif pour le data gathering & fine-tuning a été envisagée.

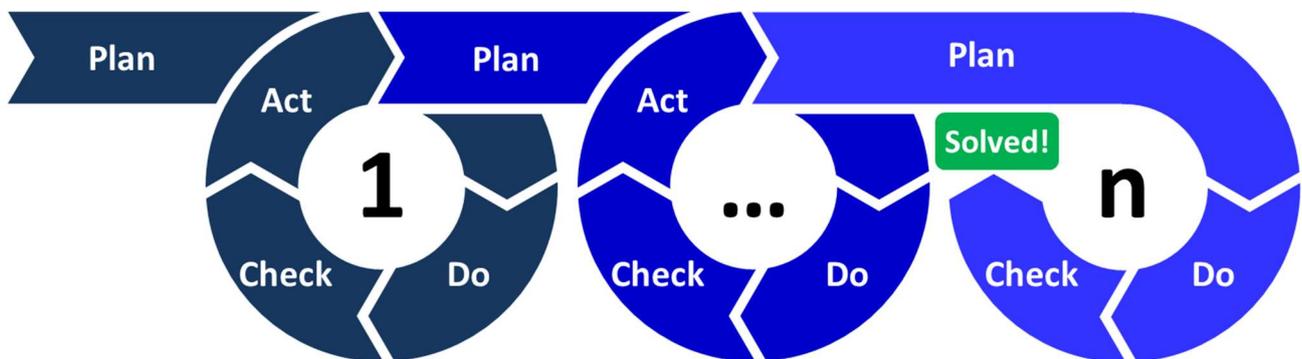


Figure 1: Processus de data gathering & tuning de type "Cycle de Deming", PDCA.¹

¹ Christoph Roser at AllAboutLean.com

Méthodologie de recherche

Cette analyse a été élaborée selon une méthodologie de type *bottom-up*, c'est-à-dire à partir d'une étude de cas caractéristique. En particulier, les outils d'évaluation énergétique onshore (descripteurs et indicateurs clés de performance) ont été élaborés à partir d'une analyse visant à évaluer les besoins énergétiques quantitatifs en prenant comme échantillon la zone portuaire de Livourne. Dans l'ensemble, la zone en question couvre une superficie d'environ 6 700 000 m². Le choix de cette zone géographique s'explique avant tout par l'hétérogénéité particulière de la zone en question en termes d'usage prévu et type de concessionnaires présents décrits en détail dans les paragraphes suivants.

L'approche méthodologique utilisée est basée sur une évaluation énergétique à l'aide d'outils de géoréférencement que l'on peut résumer en cinq macro phases. La première prévoit l'emplacement précis des *clusters bâtiment*, soit des zones caractérisées par une densité d'urbanisation et un usage homogènes. L'objectif ultime de cette phase est de définir les *clusters modèle* ou *clusters de référence* nécessaires à l'extrapolation des données sur l'ensemble de la zone ciblée. La phase suivante consiste à concevoir des outils pour le *Cluster Profiling & Cluster Segmentation*, soit des descripteurs et des *ICP* énergétiques. Plus précisément, les *descripteurs* sont constitués d'indicateurs quantitatifs relatifs aux caractéristiques de densité d'urbanisation, tandis que les *indicateurs clés de performance énergétique (ICP)* renvoient à des besoins énergétiques spécifiques (kWh/m² par zone) liés à la demande d'énergie primaire pour l'éclairage publics et le chauffage, le refroidissement, l'éclairage et la production d'eau chaude sanitaire (ECS) et auxiliaires (tableau 1a-b).

DESCRIPTEURS (a)
Superficie totale Zone (m ²)
Volumétrie totale Bâtiments (m ³)
Superficie totale Bâtiments (m ²)
Densité volumétrique Bâtiments (m ³ /m ²)
Usage prévu

ICP énergétiques (b)
Facteur demande en énergie primaire pour chauffage (kWh/m ² an)
Facteur demande en énergie primaire pour rafraîchissement (kWh/m ² an)
Facteur demande en énergie primaire pour éclairage (kWh/m ² an)
Facteur demande en énergie primaire pour ACS (kWh/m ² an)
Facteur demande en énergie primaire pour éclairage public (kWh/m ² an)

Tableau 1: DESCRIPTEURS (a) Cluster & ICP (b).

La troisième phase consiste dans le processus de collecte et d'homogénéisation des données agrégées relatives aux besoins énergétiques onshore. Les données de consommation énergétiques sous forme agrégée seront utilisées comme outil permettant de valider cette étude et la méthodologie proposée, en tenant compte à cette fin, quand elles sont disponibles, également des données relatives aux activités du terminal liées à la manutention ou à la réfrigération des conteneurs, et qui représentent les activités les plus énergivores (quatrième phase). En conclusion, la dernière partie de ce travail prévoit la définition d'une approche systématique visant à évaluer les besoins énergétiques portuaires en zone exclusivement onshore (cinquième phase). Cette approche a été conçue dans une perspective d'utilisation du GNL et de la transition énergétique vers les sources renouvelables. Enfin, la méthodologie est appliquée à l'ensemble de la zone ciblée, extrapolant ainsi une estimation quantitative de la demande en énergie primaire et sa segmentation (chauffage, refroidissement, etc.).

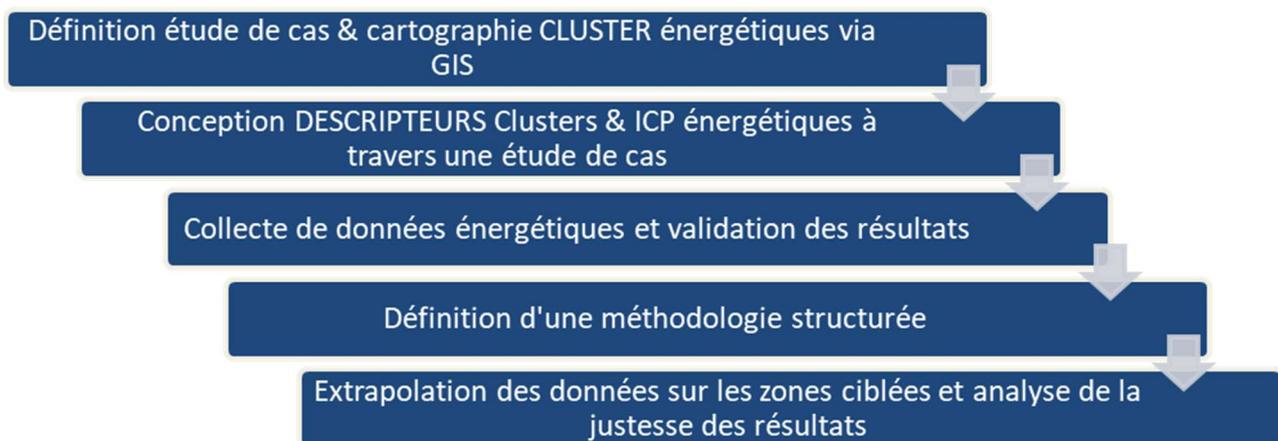


Figure 2: Méthodologie d'analyse.

Étude de cas : Zone portuaire de Livourne

"Il appartient à l'autorité portuaire de gérer, en application des règles d'utilisation, l'ensemble de la zone, et donc de conduire les activités nécessaires et de gérer les espaces publics communs comme l'éclairage, les déchets, le balayage des rues, etc. Du point de vue énergétique, tant les opérateurs présents que l'autorité portuaire sont tenus, conformément à la loi, de respecter les règles générales du secteur et, en tant que sujets indépendants, ils se coordonnent librement avec le fournisseur d'électricité choisi en fonction de leur convenance économique et ce dernier, à son tour, avec le gestionnaire de réseau local pour tout ce qui concerne le service de transport de l'électricité, les besoins de raccordement et la modification du courant tiré pour un nouveau raccordement"².

Relevé des infrastructures et industries

Infrastructure électrique

"La zone portuaire est actuellement alimentée par 3 cabines de distribution ENEL primaires (qui alimentent également le reste de la ville de Livourne), à savoir :

ENEL La Rosa (2x25 MW) : cette cabine alimente la zone de l'ancien chantier naval Orlando (aujourd'hui appelé Porta a Mare avec les chantiers Azimuth Benetti) et par les bassins de rétention à sec au sud. Le plan annuel et pluriannuel de déploiement des infrastructures d'Enel Distribuzione S.p.A. 2013-2015 prévoit la reconstruction du tronçon MT d'ici 2018, afin d'améliorer l'efficacité énergétique et la fiabilité des cabines.

ENEL Lodolo (2x25 MW) : cette cabine alimente le port Médicis.

ENEL port industriel (2x25 MW) : cette cabine alimente la zone nord du port comprenant la zone située entre la tour du Marzocco et les secteurs "darsena petroli/paduletta" et "darsena Toscana".

La zone comprend également plus de 70 cabines MT/BT qui assurent la distribution de l'électricité à tous les utilisateurs portuaires."²

Infrastructure de distribution du gaz naturel

"Le réseau à haute pression est géré par la SNAM, mais n'approvisionne pas directement les utilisateurs en zone portuaire ; au niveau local, la distribution du méthane est assurée par ASA S.p.A. Les principaux utilisateurs du gaz sont les activités industrielles situées en zone portuaire, cette source d'énergie ayant remplacé le fuel dans les années 1990. D'autres utilisations sont fondamentalement assimilables aux utilisations civiles (chauffage locaux)"².

Vue d'ensemble des principales industries présentes dans la zone portuaire

Le tableau 2 présente la liste des principales activités industrielles présentes dans la zone portuaire de Livourne :

INDUSTRIES	
MASOL	Styron Italia
TOSCO PETROL	Labromare (partie 1)
INERTI LAVIOSA	Oil Product Doc Piers
Costieri D'Alesio	ENEL Power Plant

² Autorité portuaire de Livourne. *Plan d'aménagement du port de Livourne*, "Lignes directrices pour la transition énergétique du port de Livourne". (Document de synthèse, annexe 2), juillet 2014 et documents successifs.

Costiero Gas Livorno (LPG)	ENI Ugione Dock
Solvay Rhodla	Costieri del Tirreno Storage
Labromare (Plant 2)	Costieri Neri Storage
LAVIOSA Chemical Mining (2)	

Tableau 2: Principales industries présentes dans la zone portuaire de Livourne ³

³ Autorità Portuale di Livorno, Port Infrastructure for alternative fuels and maritims transport: The Livorno case. Disponibile en ligne: <https://www.portialettirreno.it/studi-e-sviluppo/documenti-prodotti/> (accessed 08/02/2019).

Principaux projets de recherche

NOM DU PROJET	OBJECTIFS	STATUS	LIEN
CLIMEPORT	Promouvoir la réduction des émissions de gaz à effet de serre des ports méditerranéens en encourageant une utilisation rationnelle de l'énergie afin de permettre un développement durable des ports.	Conclu en 2009	https://www.programmedeurope.eu/en/the-projects/project-focus/climeport.html
GREEN-BERTH	Amélioration de l'efficacité énergétique et déploiement des meilleures technologies vertes dans les communautés portuaires situées en Méditerranée, avec une attention particulière envers le rôle des petites et moyennes entreprises en matière d'économies d'énergie, axées sur les opérations d'amarrage.	Conclu en 2013	-
GREENCRANES	Tester de nouvelles technologies et carburants alternatifs dans les terminaux conteneurs existants en zone portuaire, contribuant ainsi à réduire la pollution générée principalement par les émissions de gaz à effet de serre et à comprendre et décider quelles technologies ont une forte valeur socio-économique et donc un potentiel plus important pour leur diffusion rapide dans toute la Communauté Européenne.	Conclu en 2014	http://www.greencranes.eu/ (consulté 07/02/2019)
COLD IRONING	La fourniture d'énergie électrique du quai aux navires amarrés, tout d'abord aux paquebots de croisière, sans qu'ils aient besoin d'utiliser les machines de bord pour leurs nécessités durant la phase d'accostage (quais d'électrification par alimentation onshore).	-	-
SEA TERMINALS (Activity 1)	"L'objectif principal de l'étude est de définir l'évaluation technique du développement des potentialités GNL à l'intérieur de la zone ciblée du point de vue de la logistique maritime et intermodale basée sur l'utilisation cryogénique des contenants "ISO-tank".	Conclu en 2014	http://www.seaterminals.eu/ (consulté 07/02/2019)

Définition des zones ciblées

La zone portuaire de Livourne examinée dans cette étude occupe une superficie totale d'environ 6 711 000 m² pour un total de 25 zones. L'identification de ces zones a été réalisée avec des outils de géoréférencement et le critère d'identification du périmètre se base sur l'homogénéité de la morphologie urbaine, telle qu'on la visualise à travers l'outil *Google Earth Professional*.

L'identification et la subdivision des zones portuaires en sous-zones aux caractéristiques homogènes représentent une partie décisive dans la conduite des activités de cette phase. Il est important de souligner que, dans certains cas, des zones présentant des caractéristiques de construction similaires ont été subdivisées en sous-zones afin d'obtenir un paramètre de benchmarking de celles-ci ; autrement dit, pour une même superficie et pour des zones présentant des caractéristiques communes, des valeurs similaires aux indices spécifiques de demande en énergie primaire (kWh/m² par an) devraient être constatées.

Types d'utilisateurs et besoins énergétiques

Les types d'utilisateurs identifiés pour la zone ciblée peuvent être divisés en trois macro-catégories : **Procédés industriels, bâtiments et éclairage public**. En règle générale, l'évaluation de la demande en énergie primaire pour la catégorie des **bâtiments** peut être effectuée à travers des indicateurs de consommation spécifiques (kWh/m² - an) à partir des surfaces de chaque enveloppe de bâtiment et de son usage prévu, sauf pour les entrepôts frigorifiques de marchandises pour lesquels il faut s'attendre à des caractéristiques particulières en termes de consommation énergétique.

Les bâtiments non équipés d'un système de chauffage ne sont pas pris en compte dans cette analyse. De nombreuses études fournissant de précieux outils permettant de caractériser la demande énergétique des bâtiments en fonction de leur usage [1], [2] sont disponibles dans la littérature la plus récente. Plus précisément, trois utilisations différentes ont été identifiées pour le cas en question, chacune d'entre elles étant caractérisée par les besoins énergétiques nets indiqués au tableau 3.

Le système d'éclairage public de la zone portuaire de Livourne, relevant de l'autorité portuaire, a été en grande partie réalisé par l'entreprise contractante ITECI Srl⁴. avec laquelle un processus de coopération⁵ est en cours pour l'identification précise des données relatives aux caractéristiques de construction de l'installation, à leur localisation et à la technologie utilisée (lampes aux halogénures métalliques, LED, etc.), ainsi que des

⁴ ITECI S.r.l. Disponible en ligne: <http://www.iteci.it/> (consulté 07/02/2019).

informations relatives à la qualité de la puissance électrique (facteur de puissance) et à la consommation énergétique réelle.

Tableau 3. Besoins énergétiques nets selon l'usage prévu.

	DEMANDE SPÉCIFIQUE (énergie nette) ⁶			
	Chauffage	Refroidissement	Éclairage	ACS
Bureaux (kWh/m² an)	190	65	55	35
Résidentiel (kWh/m² an)	160	16	5	28
Hangars chauffés (kWh/m² an)	161	10	39	22

Les besoins énergétiques de chaque concessionnaire **industriel** peuvent être identifiés à travers une enquête directe et/ou le soutien de l'autorité portuaire compétente. Pour l'identification et la segmentation des besoins énergétiques (thermique + électrique + fuel + essence) impliqués dans chaque processus, une étude spécifique prévoyant l'élaboration d'un audit énergétique dédié ou, si possible, le partage de la part des parties prenantes de cet outil, si présent, est cependant nécessaire.

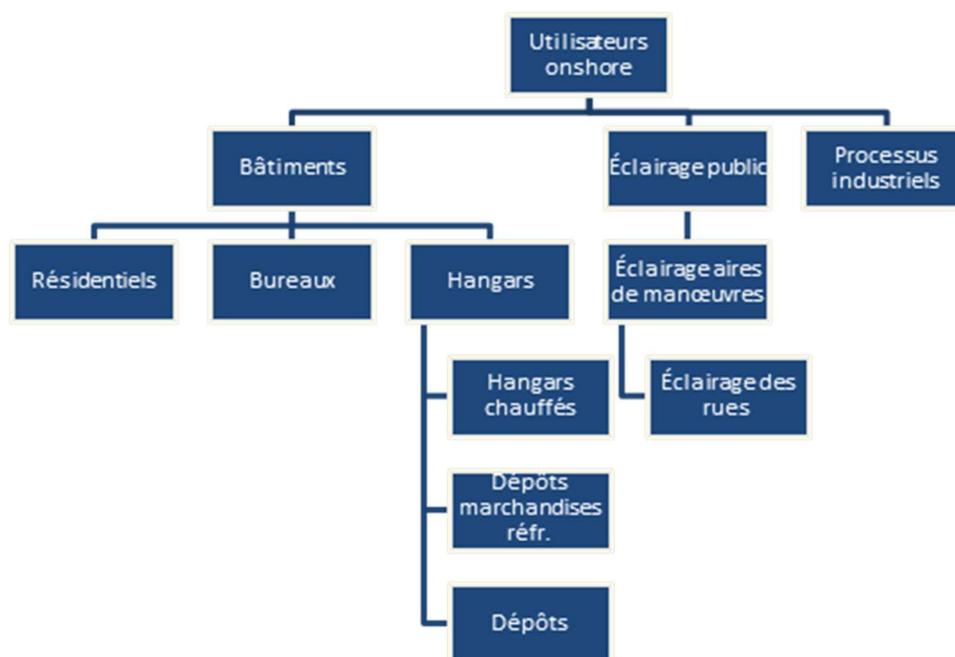


Figure 3: Macro catégories utilisateurs onshore.

⁶ Données élaborées à partir de "Besoins énergétiques : maisons et bureaux à la loupe". Disponible en ligne: http://www.eurac.edu/en/research/technologies/renewableenergy/publications/Documents/EURAC_RenEne_RFedrizzi-CDipasqualeetici_CasaAndClima54_042015.pdf (consulté 07/02/2019).

Cartographie

La figure 4 présente la cartographie des zones ciblées. Le tableau 4 expose les données de géoréférencement relatives à chaque zone, y compris les coordonnées (relatives au centre géométrique de chaque zone), périmètre et superficie totale.

La zone 6A est incluse pour le développement de la méthodologie, mais pas dans le bilan final des besoins portuaires, la zone dépassant partiellement les limites de la zone portuaire ciblée.



Figure 4: Zones d'intérêt - Port de Livourne.

N.	Centroid/Mid-Point (Degrees)	NOM	Zone (m²)	Périmètre (m)
1	43.5747973°, 010.3026856°	ZONE 1	553 217	5 292
2	43.5761985°, 010.3076720°	ZONE 1A	154 097	2 115
3	43.5742176°, 010.3094542°	ZONE 1B	50 391	1 691
4	43.5769989°, 010.3126706°	ZONE 1C	128 841	2 324
5	43.5774322°, 010.3146678°	ZONE 1D	193 645	3 036
6	43.5850829°, 010.3094784°	ZONE 2	95 440	2 089
7	43.5874533°, 010.3176343°	ZONE 2A	80 148	2 051
8	43.5826319°, 010.3092216°	ZONE 3	165 330	2 210
9	43.5868825°, 010.3207928°	ZONE 3A	113 990	3 176
10	43.5808156°, 010.3096066°	ZONE 4	78 167	1 230
11	43.5785837°, 010.3104963°	ZONE 5	76 592	1 236

12	43.5838281°, 010.3179615°	ZONE 6	256 071	2 659
13	43.5840510°, 010.3357655°	ZONE 6A	2 295 343	6 844
14	43.5815743°, 010.3213371°	ZONE 7	209 221	1 882
15	43.5773789°, 010.3195422°	ZONE 8	105 325	1 302
16	43.5742244°, 010.3184438°	ZONE 9	79 305	1 686
17	43.5679705°, 010.3158101°	ZONE 10	248 504	2 930
18	43.5652700°, 010.3119013°	ZONE 11	149 028	2 934
19	43.5674415°, 010.3111494°	ZONE 12	203 169	3 381
20	43.5620445°, 010.3056422°	ZONE 13	310 982	2 616
21	43.5559788°, 010.3011964°	ZONE 14	453 794	6 803
22	43.5518350°, 010.3003995°	ZONE 15	40 024	883
23	43.5490853°, 010.3028984°	ZONE 16	79 189	3 182

24	43.5445892°, 010.2991813°	ZONE 17	356 178	6 838
25	43.5746057°, 010.3241842°	ZONE 18	235 682	2 149
Total zone cartographiée (m²)			6 711 673	
Total zone portuaire effective, hormis zone 6A (m²)			4 233 635	

Tableau 4: Base de données zones ciblées

Données sur la consommation énergétique présentes dans la littérature récente

Les données sur la consommation énergétique de la zone portuaire de Livourne sont présentées au tableau 5.

Document	Année	Zone ciblée	Superficie Totale (m ²)	Donnée	Valeur (kWh/an)	Lien	Notes
Audit énergétique du Port de Livourne	2001	Terminal Darsena Toscana	412.000 (ouest) & 57.000 (est)	Consommation énergie électrique fourni en GJ	1 870 000	http://www.porto.li.it/Portals/0/Documenti/Piano_regolatore/all2_energiaNURV.pdf (consulté 07/02/2019)	Valeur calculée par relève de puissance et GC
GREENCRANES	2011	Terminal Darsena Toscana	Non explicite mais déductible : 450 000 - 500 000.	Consommation énergie électrique pour éclairage terminal + consommation électrique des bureaux situés dans la zone.	1 229 174 (Terminal lighting) & 923 628 (Bureaux)	https://www.portaltotirreno.it/wp-content/uploads/2018/03/GREENCRANES-2013-29-05-Valencia-APL-Presentation-Lighter.pdf (consulté 07/02/2019)	-
Lignes directrices pour la transition énergétique du port de Livourne	2014	"Autorité portuaire"	Non défini explicitement	"Nécessité énergétique"	1 300 000	http://www.porto.li.it/Portals/0/Documenti/Piano_regolatore/all2_energiaNURV.pdf (consulté 07/02/2019)	Définition de la limite géographique des zones non présentes
		Éclairage aires de manœuvres		Tableau 12, besoins énergétiques en éclairage des aires de manœuvres, installations traditionnelles (Na)	1 442 000	http://www.porto.li.it/Portals/0/Documenti/Piano_regolatore/all2_energiaNURV.pdf (consulté 07/02/2019)	Définition de la limite géographique des zones non présentes

Tableau 5: Sources de données relatives à la demande/consommation énergétique disponibles dans la littérature récente.

Exemple d'application : Zone 1, Terminal Darsena Toscana

Le Terminal Darsena Toscana, zone dédiée à la manutention conteneurs (multipurpose), couvre une superficie totale de 390 000 m² appartenant à l'État⁷. Pour l'identification des ICP énergétiques de cette étude, certaines zones adjacentes à la zone de propriété de l'État du Darsena Terminal Toscana ont été incorporées à la ZONE 1, car elles sont considérées homogènes en termes de densité d'urbanisation.

Bâtiments et installations

Quatre éléments de construction ont été identifiés pour un usage "bureau", auxquels a été ajouté un élément de type "résidentiel". La superficie brute totale des bâtiments évaluée dans cette étude est de **2 675 m²** bruts pour un volume brut total de **10 592 m³**. Le système de manutention des conteneurs/UTI⁸ est composé des éléments indiqués au tableau 6. En ce qui concerne l'éclairage des aires dédiées à la manutention et au stockage des conteneurs/UTI, on dénombre **38 tours d'éclairage**⁹ pour une consommation électrique d'environ **1 229 174 kWh/an**¹⁰. Ces consommations ont l'incidence la plus élevée en termes de pourcentage sur le total, si l'on exclut la réfrigération des conteneurs et la consommation de gasoil ou autres combustibles fossiles.

Élément	numéro
Quay cranes	8
RTG	14
Reach Stackers	20
Torri Faro	38

Tableau 6. Équipement du Terminal Darsena Toscana.

⁷ <http://www.tdt.it/AboutTDT/tabid/70/language/en-US/Default.aspx> (consulté 07/02/2019)

⁸ TDT - Disponible en ligne : <http://www.tdt.it/AboutTDT/tabid/70/language/en-US/Default.aspx> (consulté 07/02/2019)

¹⁰ Le terme UTI signifie Unité de transport intermodal

Hypothèse de calcul

Les coefficients de conversion pour l'évaluation de la demande d'énergie primaire pour la zone ciblée sont présentées au tableau 7.

Rendement annuel moyen de la production d'énergie thermique pour le chauffage (pompe à chaleur)	3.5
Taux d'efficacité énergétique pour le refroidissement	2.5
Rendement annuel moyen pour la production d'eau chaude sanitaire	0.9

Tableau 7. Facteurs de conversion pour l'évaluation des besoins en énergie primaire.

Évaluation des besoins énergétiques actuels et ICP

La demande énergétique portuaire peut initialement être divisée en deux macro-éléments, à savoir la demande d'électricité et la demande attribuable à la consommation de gasoil pour la manutention des marchandises (Figure 5).

Ces données ont été obtenues à partir de l'évaluation de la consommation d'énergie de divers terminaux multipurpose appartenant aux ports de la zone ciblée. Sur la base de ces données, nous pouvons évaluer une répartition préliminaire entre ces deux vecteurs énergétiques, comme le montre la figure 5. Comme on peut le constater, la contribution de ces éléments est à peu près équivalente. Cette subdivision est nécessaire pour obtenir une segmentation de la macroconsommation homogène. Toutefois, étant donné que, sur la base des paragraphes qui précèdent, l'objectif de l'étude concerne la segmentation détaillée de la consommation d'électricité qui peut être estimée par des facteurs de benchmarking énergétique, la figure 6 montre la répartition de cette quote-part d'électricité dans les différentes contributions, dont les valeurs sont basées sur des données de consommation réelle. Si l'on exclut donc la demande nette d'électricité pour la réfrigération des conteneurs, de loin le principal contributeur à la demande totale d'électricité (**52 %** ; figure 6), et celle attribuable à la consommation des grues maritimes représentant environ 30% de la demande totale d'électricité, l'éclairage des aires de manœuvre est la plus importante composante évaluée¹¹. Plus précisément, la demande d'électricité pour l'éclairage public représente 11% de la consommation totale d'électricité (figure 6) et environ 72% si l'on considère uniquement la fraction de la consommation onshore, telle qu'elle est définie dans ce document (figure 7).

Enfin, à la figure 8, en combinant les diverses données mentionnées ci-dessus, nous présentons la répartition du pourcentage de la consommation liée à la demande totale d'énergie (électricité + gasoil + essence) divisée par les usages (éclairage public ; éclairage des bâtiments ; chauffage ; refroidissement ; AUX¹² ; Réfrigération conteneurs ;

¹¹ En 2019, dans le cas spécifique du terminal DT, le besoin d'éclairage diminuera considérablement (environ 40%) grâce à l'application de lampes LED.

¹² Composants électroniques et appareils électroménagers.

voitures électriques ; grues maritimes ; voiture ; camion ; chaudière ACS ; élévateur à fourche ; Reach Stakers (RS) ; grues-portiques sur pneus RTG). Notons que la manutention des conteneurs représente de fait la part la plus importante de la consommation énergétique portuaire pour les terminaux multipurpose. Vient la réfrigération des conteneurs puis l'éclairage des aires de manœuvre.

Globalement, l'équivalent énergétique théorique de GNL pour la ZONE 1, incluant la consommation onshore (éclairage, chauffage, réfrigération, ECS et AUX) plus la consommation de gasoil et la consommation d'électricité générée par les grues et la réfrigération des conteneurs, sera donc de **3637¹³ $\frac{m^3_{c.c.}}{anno}$** .

À ce stade, il est fondamental de contextualiser le sens de ces données, car la satisfaction de la demande actuelle d'énergie primaire par l'intégration du GNL pourrait être réalisée à travers différentes solutions technologiques: cogénération, conversion des installations, solutions hybrides, valorisation énergétique des déchets, etc. En ce sens, les besoins réels en GNL pourraient varier considérablement selon le scénario examiné. Par conséquent, le besoin équivalent théorique fourni dans cette analyse ($3\ 637 \frac{m^3_{c.c.}}{anno}$) est sensible au type de technologie utilisée et susceptible d'être inférieur aux besoins réels en GNL résultants d'un scénario prospectif de modernisation des installations onshore.

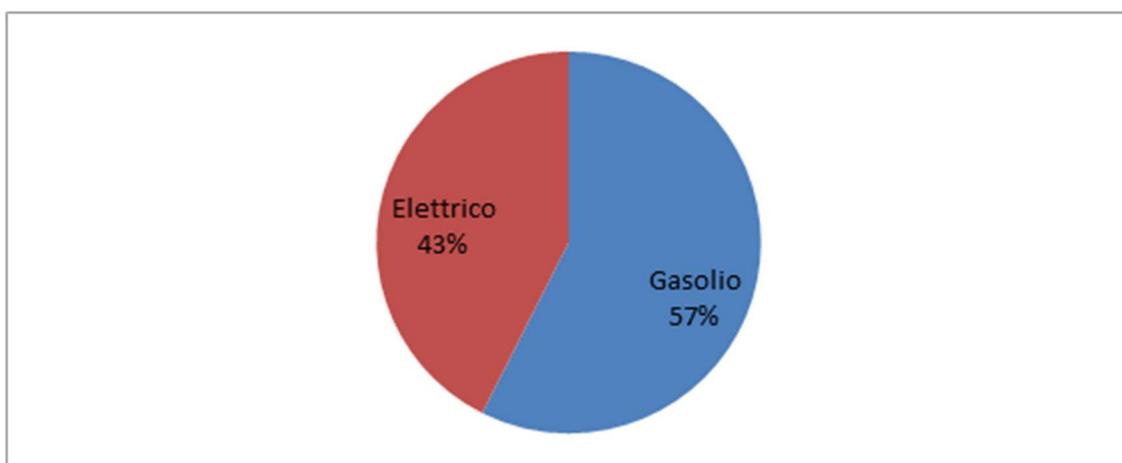


Figure 5. Répartition de la consommation agréée par terminal multipurpose, électrique + gasoil.

¹³ PCS = 50 MJ/kg; Densité=450 kg/m³ ; Températures = -162.4°C ; Pression = 25 kPa.

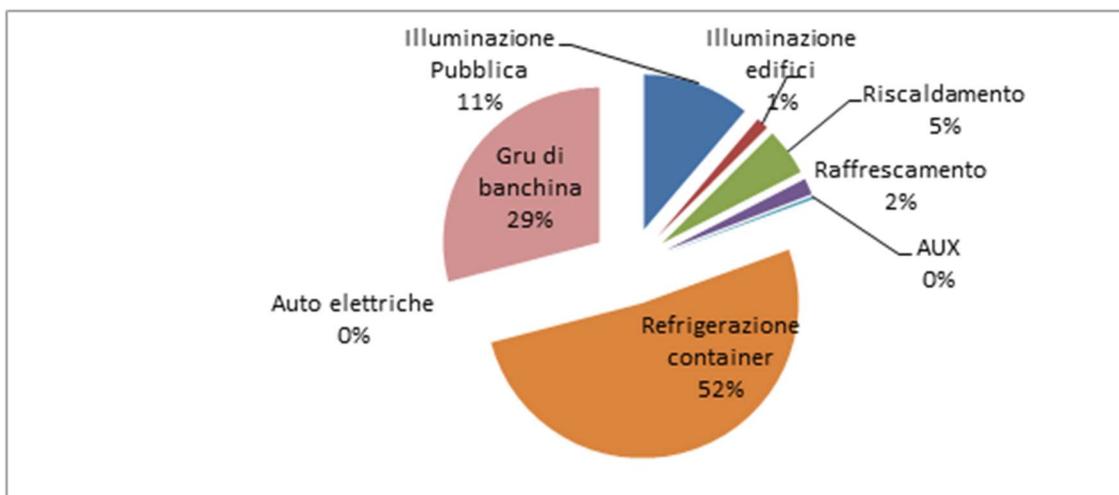


Figure 6. Répartition de la consommation d'électricité par TDT, y compris la réfrigération conteneurs et la manutention avec grues électriques.

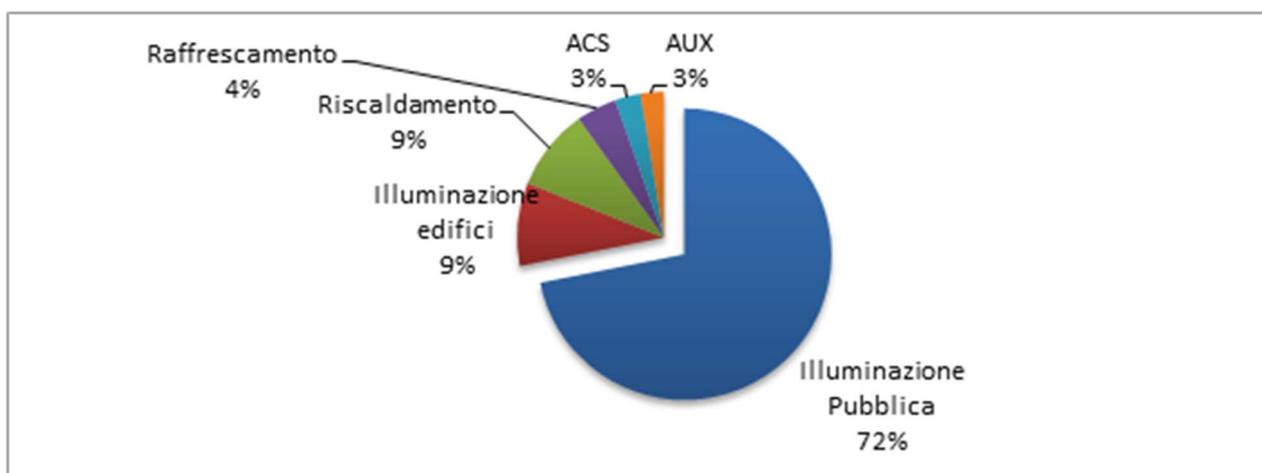


Figure 7. Demande d'énergie primaire pour les bureaux et l'éclairage des aires de manœuvre (tours d'éclairage).

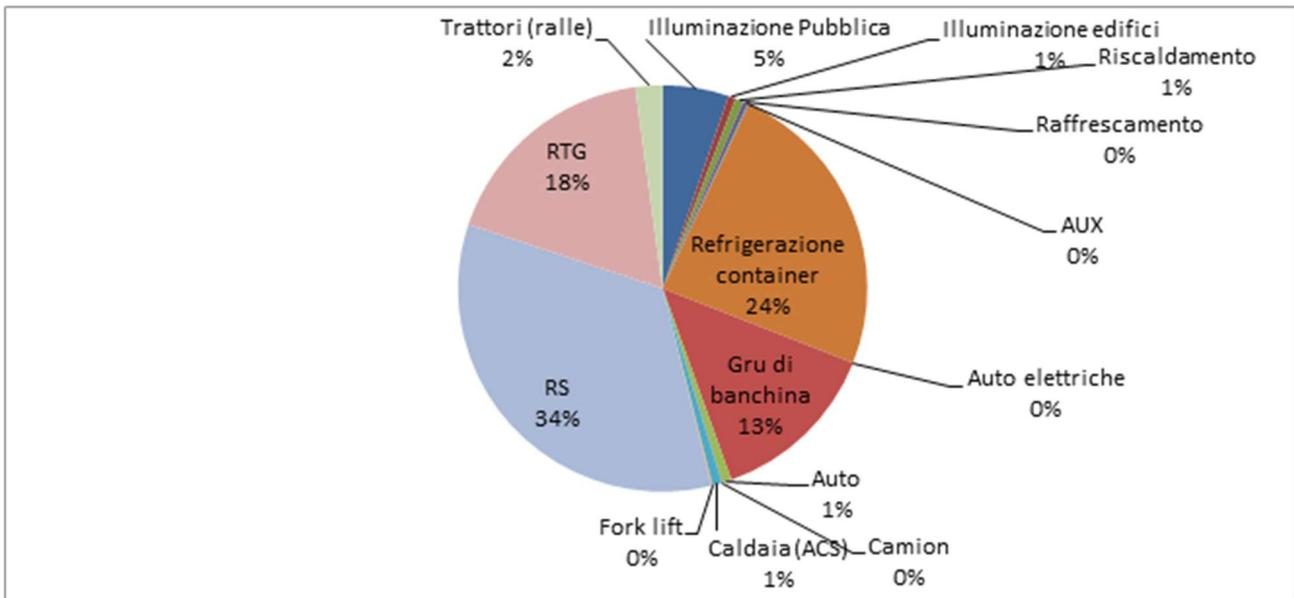


Figure 8. ZONE 1, Terminal Darsena Toscana. Répartition en pourcentage de la demande totale d'énergie primaire (électricité + gasoil en kWh équivalents).

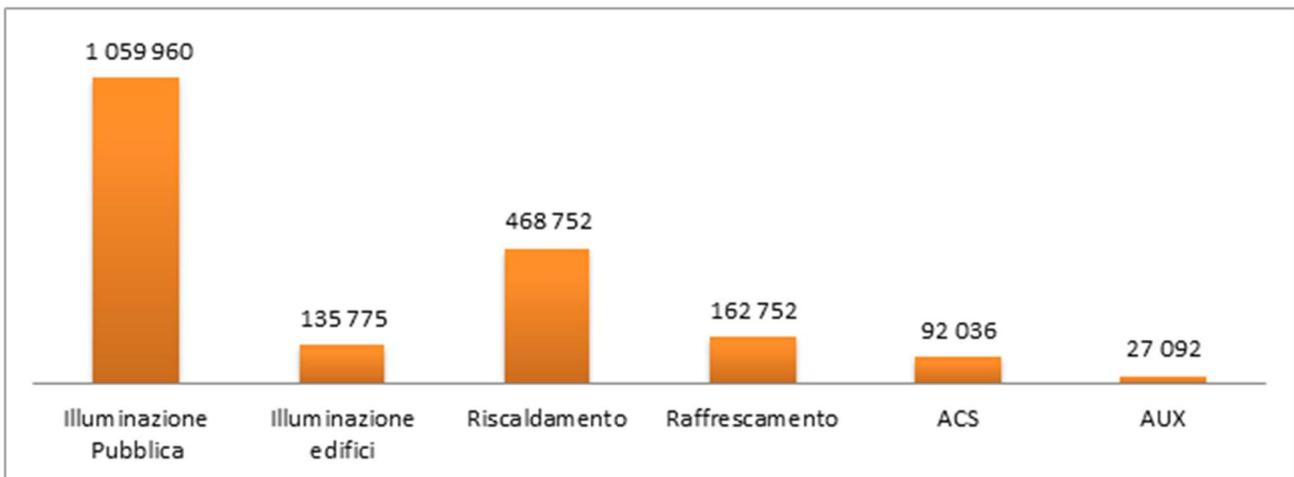


Figure 9. ZONE 1, Terminal Darsena Toscana. Évaluation de la demande annuelle en énergie primaire par type ($\frac{kWh}{\text{anno}}$).

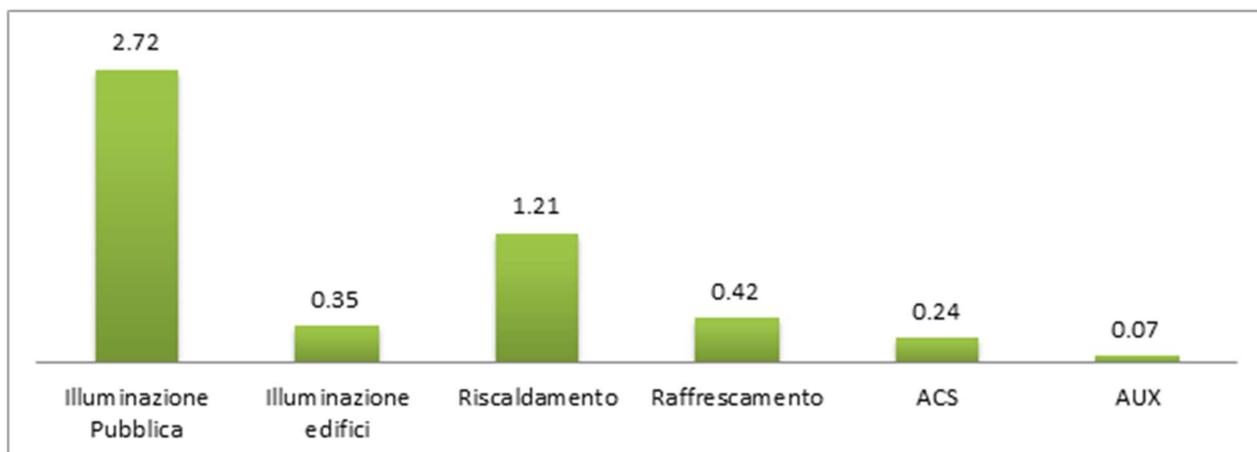


Figure 10. ZONE 1, Terminal Darsena Toscana. Évaluation de la demande spécifique actuelle d'énergie primaire par type ($\frac{kW}{m^2_{zona} anno}$).

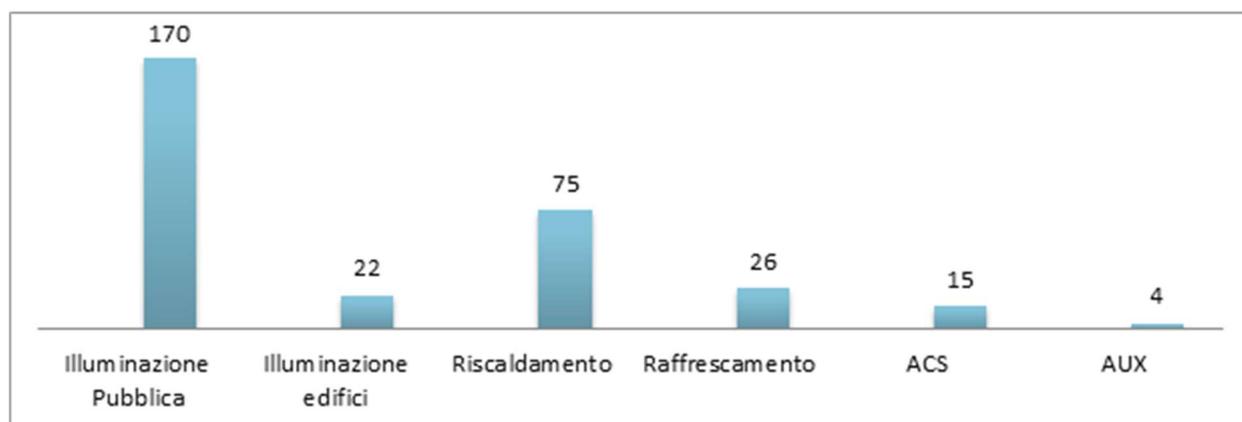


Figure 11. ZONE 1, Terminal Darsena Toscana. Évaluation de la demande annuelle équivalente (théorique) de GNL par type (m³ @ conditions cryogéniques¹⁴)

¹⁴ PCS = 50 MJ/kg; Densité=450 kg/m³ ; Températures = -162.4°C ; Pression = 25 kPa.

Base de données Descripteurs et ICP

NOM	Zone (mètres carrés)	Sup. Bâtiments Total (m2)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauff. (kWh/an & kWh/m2 par an)	Refroid. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	Demande totale d' énergie primaire (kWh/an)
ZONE 1	553 217	2 675	1.059.960	135.775	133.929	65.101	102.262	27.092	1.421.856,89
			2,725	0,349	0,344	0,167	0,263	0,070	3,66
ZONE 1A	154 097	-	175.200	-	-	-	-	-	175.200,00
			1,137	-	-	-	-	-	1,14
ZONE 1B	50 391	-	21.900	-	-	-	-	-	21.900,00
			0,435	-	-	-	-	-	0,43
ZONE 1C	128 841	3 734	102.200	74.113	73.150	35.035	52.403	29.663	314.160,25
			0,89	0,64	0,64	0,30	0,46	0,26	2,73

ZONE 1D	193 645	44 186	210.240	1.546.383	1.792.341	219.371	977.132	945.766	4.714.100,51
			5,47	40,24	46,64	5,71	25,43	24,61	122,68
ZONE 2	95 440	4 779	21.900	205.694	231.666	50.891	138.218	129.005	639.156,49
			0,229	2,155	2,427	0,533	1,448	1,352	6,70
ZONE 2A	80 148	1 290	74460	70950	70029	33540	50167	51.951	300.929,57
			0,929	0,885	0,874	0,418	0,626	0,648	3,75
ZONE 3	165 330	628	153300	34540	34091	16328	36996	36.996	275.255,43
			0,927	0,209	0,206	0,099	0,224	0,224	1,66
ZONE 3A	113 990	888	153300	18186	42430	9593	25777	36.975	260.483,91
			1,345	0,160	0,372	0,084	0,226	0,324	2,29
ZONE 4	78 167	3 036	48180	132868	147146	32032	87271	44.750	404.976,03
			0,6	1,7	1,9	0,4	1,1	0,6	5,18
ZONE 5	76 592	2 852	135780	106164	138401	32293	86323	88.477	501.115,54
			1,77	1,39	1,81	0,42	1,13	1,16	6,54
ZONE 6	256 071	5 624	96360	244986	290360	58549	172497	86.275	776.530,07
			0,376	0,957	1,134	0,229	0,674	0,337	3,03
ZONE 6A	2 295 343	204 740	96.508	10.711	2.918	1.070.405	45.855	71.717	1.252.258
			0,042	0,005	0,001	0,466	0,020	0,031	0,55
ZONE 7	209 221	7 953	416100	246197	367399	38853	203698	125.188	1.193.736,32
			1,989	1,177	1,756	0,186	0,974	0,598	5,71
ZONE 8	105 325	223	416100	246197	367399	38853	203698	125.188	1.193.736,32
			3,951	2,337	3,488	0,369	1,934	1,189	11,33

ZONE 9	79 305	-	100740	0	0	0	0	-	100.740,00
			1,270	0,000	0,000	0,000	0,000	-	1,27
ZONE 10	248 504	97 138	87600	3843800	4182950	687486	2425698	1.122.753	9.924.589,50
			0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	39,94
ZONE 11	149 028	35 730	87600	1422472	1711025	349500	927247	440.512	4.011.108,84
			0,588	9,545	11,481	2,345	6,222	2,956	26,92
ZONE 12	203 169	203 169	87600	1084913	1472506	362608	893178	381.148,69286	3.388.775,62
			0,431	5,340	7,248	1,785	4,396	1,876	30,04
ZONE 13	310 982	5723	87600	205365	291923	105913	205543	87.579	778.380,06
			0,282	0,660	0,939	0,341	0,661	0,282	2,50
ZONE 14	453 794	15894	87600	870822	862257	411933	617588	278.844	2.511.454,81
			0,193	1,919	1,900	0,908	1,361	0,614	5,53
ZONE 15	40 024	12228	87600	504405	497854	238446	356650	164.929,02857	1.493.234,31
			NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
ZONE 16	79 189	22466	87600	283130	1056297	210736	725511	229.072,31429	1.866.835,46
			1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	23,57
ZONE 17	356 178	50018	87600	5436683	2497837	1114503	1871349	762.950	9.899.572,96
			0,25	15,26	7,01	3,13	5,25	2,14	27,79
ZONE 18	235 682	2392	87600	263120	259703	124384	186044	90.225	825.031,54
			0,372	1,116	1,102	0,528	0,789	0,383	3,50

Tableau 8. Base de données Descripteurs et ICP.

NB

Incertitude particulière pour les valeurs en orange et rouge.

Les ICP sont conçus pour évaluer la demande onshore qui inclut la consommation dérivant de l'éclairage public, de l'éclairage, chauffage et refroidissement des bâtiments, de la production d'eau chaude sanitaire et auxiliaires (électriques). La consommation de gasoil pour la manutention conteneurs, conteneurs réfrigérés, activités spéciales et équipement mécanique n'est pas incluse. Pour ces éléments, une évaluation précise est nécessaire pour chaque concessionnaire. En règle général, on estime que la demande d'énergie primaire pouvant être obtenue grâce à ces ICP représente entre 5 et 10% environ de la demande totale d'énergie primaire des exploitants de terminaux de manutention conteneurs (ex.: ZONE1), incluant donc également la consommation d'électricité, gasoil et éventuellement essence pour les processus industriels, la manutention et le refroidissement conteneurs, etc.

Passant aux autres types de zones, le pourcentage de consommation par rapport au total varie naturellement en fonction des activités menées dans la zone analysée. Plus précisément, pour certains types de zones (autres que les installations multifonctionnelles et la construction navale), cette valeur pourrait effectivement représenter la consommation totale d'énergie au niveau zonal. Dans tous les cas, il est toujours conseillé de vérifier et de contextualiser cette valeur par rapport aux données de consommation agrégées.

Évaluation de la demande actuelle pour le port de Livourne

La demande énergétique de la zone du port de Livourne concernant exclusivement la zone définie comme "onshore" (bureaux + bâtiments résidentiels + hangars + éclairage public), serait comprise entre 45 et 55¹⁵ GWh/an. Plus précisément, cette évaluation inclut **l'éclairage public, les hangars industriels équipés d'installations techniques, les bureaux et les bâtiments résidentiels** pour un total de 188 bâtiments, dont 41 hangars et 147 bureaux et résidences pour un total d'environ 2 000 000 m³ bruts¹⁶. Sont donc **exclus de cette évaluation les conteneurs réfrigérés et les hangars spéciaux** (par exemple les hangars réfrigérés) et la consommation de **gasoil** pour les activités de manutention de marchandises, transport interne et autres. Il faut de souligner que cette évaluation, en ce qui concerne les terminaux multipurpose et la construction navale, pourrait représenter une valeur située **entre 5 et 15%** de la demande totale d'énergie de ce type de zones. Il convient également de noter qu'à ce stade préliminaire de l'étude, cette valeur est encore sujette à un niveau d'incertitude élevé en raison de la disponibilité limitée d'informations sur la consommation relative à l'éclairage public pour les zones autres que la ZONE 1 et à la consommation relative aux hangars industriels équipés de systèmes mécaniques et techniques. En ce sens, chaque hangar aura ses propres spécificités en termes de besoins, lesquels dépendent du type de production hébergé. Par exemple, certaines activités de production peuvent atteindre une demande énergétique de 4 GWh électrique et 5 GWh thermique, pour une surface de 35 000 m²¹⁷. Par conséquent, dans les phases successives de l'étude, il est possible qu'une variation significative des évaluations proposées soit enregistrée par rapport à la phase préliminaire (actuelle).

Si l'on veut cependant exclure complètement l'apport énergétique lié à l'éclairage public et aux hangars industriels (qui sont les sources les plus incertaines), il est possible d'évaluer les besoins en énergie primaire pour les seuls bureaux et habitations présents dans les zones examinées. Dans ce cas, la valeur estimée des 147 éléments de construction restants, répartis sur une surface nette totale de 915 000 m², sera d'environ **26-28 GWh/an** (hors éclairage des aires de manœuvre et ACS).

Évaluation de la demande d'énergie potentielle

Dans une perspective d'intégration du GNL, les points critiques des objectifs liés à l'évaluation des besoins énergétiques portuaires peuvent être facilement gérés grâce à une approche stratégique de la conception exécutive prévoyant, par exemple, une extension aisée des volumes de stockage de GNL onshore. En ce sens, même l'optimisation des paramètres dimensionnels des installations pourrait donc être abordée en plusieurs étapes, en fonction des besoins énergétiques onshore. De plus, une approche projectuelle souple devient nécessaire lorsque l'intégration du GNL implique également des secteurs complémentaires (transports, mobilité interne, etc.), évitant ainsi d'exclure la

¹⁵ Données sujettes à une forte incertitude.

¹⁶ Le volume brut comprend la maçonnerie des bâtiments et la sur-évaluation caractéristique du relief à l'aide d'un outil de géoréférencement.

¹⁷ Viessmann. Disponible en ligne : <https://industriale.viessmann.it/blog/cosa-sapere-riscaldamento-capannoni-industriali> (consulté 11/02/2019).

possibilité de parvenir à une intégration optimale concernant les changements technologiques, structurels ou logistiques qu'il n'est pas possible de prévoir a priori sur de longues périodes.

À cette fin, l'information nécessaire pour contextualiser le problème d'un point de vue technique et évaluer l'impact des hypothèses formulées peut être obtenue à travers une analyse de sensibilité (sensitivity analysis). C'est pourquoi le tableau 9 expose les principaux travaux de requalification énergétique onshore, excluant les possibles intégrations latérales avec le secteur de la mobilité et les projets d'électrification des quais prévus ou en cours.

En relation avec l'étude de cas examinée, le tableau 9 fournit un classement des interventions possibles de requalification, tandis que la figure 12 présente une analyse de sensibilité pour l'étude de cas concernant Livourne.

Possibles interventions de modernisation	Priorités
Requalification de l'enveloppe des immeubles bureaux	Moyenne-haute
Remplacement des systèmes HVAC bureaux	Moyenne-haute
Éclairage bureaux et entrepôts avec technologie LED	Moyenne-haute
Éclairage des aires de manœuvre avec technologie LED	Haute
Cogénération gaz	Moyenne
Mix optimal	-
Solaire thermique	Moyenne-haute
Photovoltaïque + mobilité électrique	Haute

Tableau 9: Interventions de reconversion possibles (retrofitting)

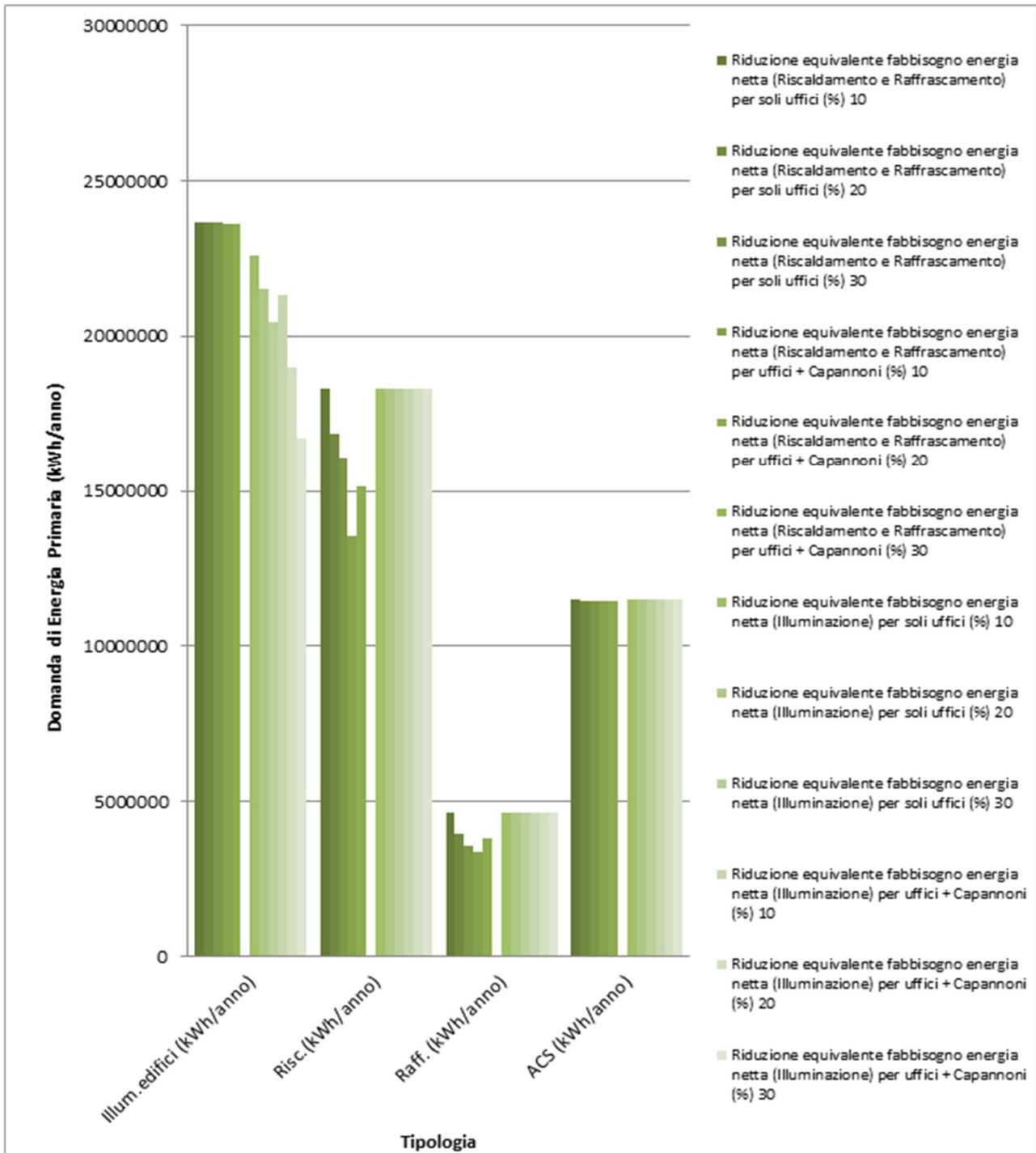


Figure 12. Analyse de sensibilité pour différents scénarios génériques de la zone concernant le port de Livourne.

SCENARIO				Éclair. Public (kWh/an)	Éclair. bâtiments (kWh/an)	Chauff. (kWh/an)	Refroid. (kWh/an)	ACS (kWh/an)	AUX (kWh/an)	SUBTOTAL DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ (kWh/an)	m3 GNL @ C.C.	Réduc. %
Actuelle				4061720	23648410	18309107	4653871	11478572	6295230	46992860	7519	0%
1	Rénovation enveloppe bâtiments	Réduction équivalente des besoins énergétiques nets (chauffage et climatisation) uniquement pour les bureaux (%)	10	4061720	23648410	17568813	4298789	11476970	6174174	45874846	7340	2%
			20	4061720	23648410	16828519	3943707	11475369	6053119	44756832	7161	5%
			30	4061720	23648410	16088224	3588625	11473768	5932064	43638818	6982	7%
2	Rénovation enveloppe bâtiments	Réduction équivalente de la demande énergétique nette (Chauffage et climatisation) pour bureaux + hangars (%)	10	4061720	23639359	16722675	4225211	11476970	6032687	44889135	7182	4%
			20	4061720	23630310	15136243	3796552	11475369	5770146	42785410	6846	9%
			30	4061720	23621260	13549811	3367893	11473768	5507604	40681685	6509	13%
3	Réduction des besoins en éclairage des bâtiments	Réduction équivalente des besoins en énergie nette (éclairage) uniquement pour les bureaux (%)	10	4061720	22576480	18309107	4653871	11478226	6219220	45912343	7346	2%
			20	4061720	21504551	18309107	4653871	11477881	6143211	44831825	7173	5%
			30	4061720	20432621	18309107	4653871	11477536	6067202	43751307	7000	7%
4	Réduction des besoins en éclairage des bâtiments + hangars	Réduction équivalente des besoins énergétiques nets (éclairage) pour bureaux + hangars (%)	10	4061720	21331378	18309107	4653871	11478226	6094710	45203459	7233	4%
			20	4061720	19014346	18309107	4653871	11477881	5894190	43414057	6946	8%
			30	4061720	16697314	18309107	4653871	11477536	5693671	41624656	6660	11%

Tableau 10: Présentation de l'analyse de sensibilité

Définition des orientations générales

Ce paragraphe propose une méthodologie systématique comme outil d'aide à la gestion des projets d'audit énergétique préliminaire en zone portuaire onshore. L'intérêt de cette méthodologie réside dans l'adoption d'une stratégie de gestion de l'incertitude à travers une approche analytique de type heuristique. Comme le montre la figure 13, à cette fin, les principaux éléments de cet outil peuvent être résumés en quatre points :

- Descripteurs et Indicateurs clé de performance (outils)
- Base de données et Database Manager (outils)
- Database Tuning & Extension system (activité clé)
- Uncertainty management (activité clé + organismes de référence)

L'objectif des descripteurs et des ICP est de déterminer la demande d'énergie primaire en milieu onshore. Ces outils sont donc disponibles dans une base de données périodiquement mise à jour de manière itérative sous la responsabilité d'un Database Manager (database tuning). Ce dernier aura pour tâche de gérer les flux d'informations liés aux études de cas dans le but ultime d'améliorer les outils d'évaluation énergétique portuaire (Database extension). La gestion de l'incertitude peut s'effectuer qualitativement ou quantitativement en fonction de la disponibilité d'informations ponctuelles pour les différentes zones analysées. À cette fin, l'échange d'informations avec des organismes clés (autorité portuaire, cadastre et zone maritime de l'État, concessionnaires, etc.) sera nécessaire pour disposer des informations difficilement accessibles. De même, les informations publiques comme plans environnementaux et énergétiques portuaires, audits énergétiques, plan d'aménagement portuaire ou projets de recherche seront assurément un outil fondamental pour valider les résultats en zone portuaire lors de la phase préliminaire des projets d'audit énergétique onshore. En conclusion, le niveau de résolution du travail d'évaluation énergétique sera fonctionnel au type d'intervention prospective en termes d'intégration du vecteur GNL et le processus itératif devra donc être modulé en fonction de cette perspective.

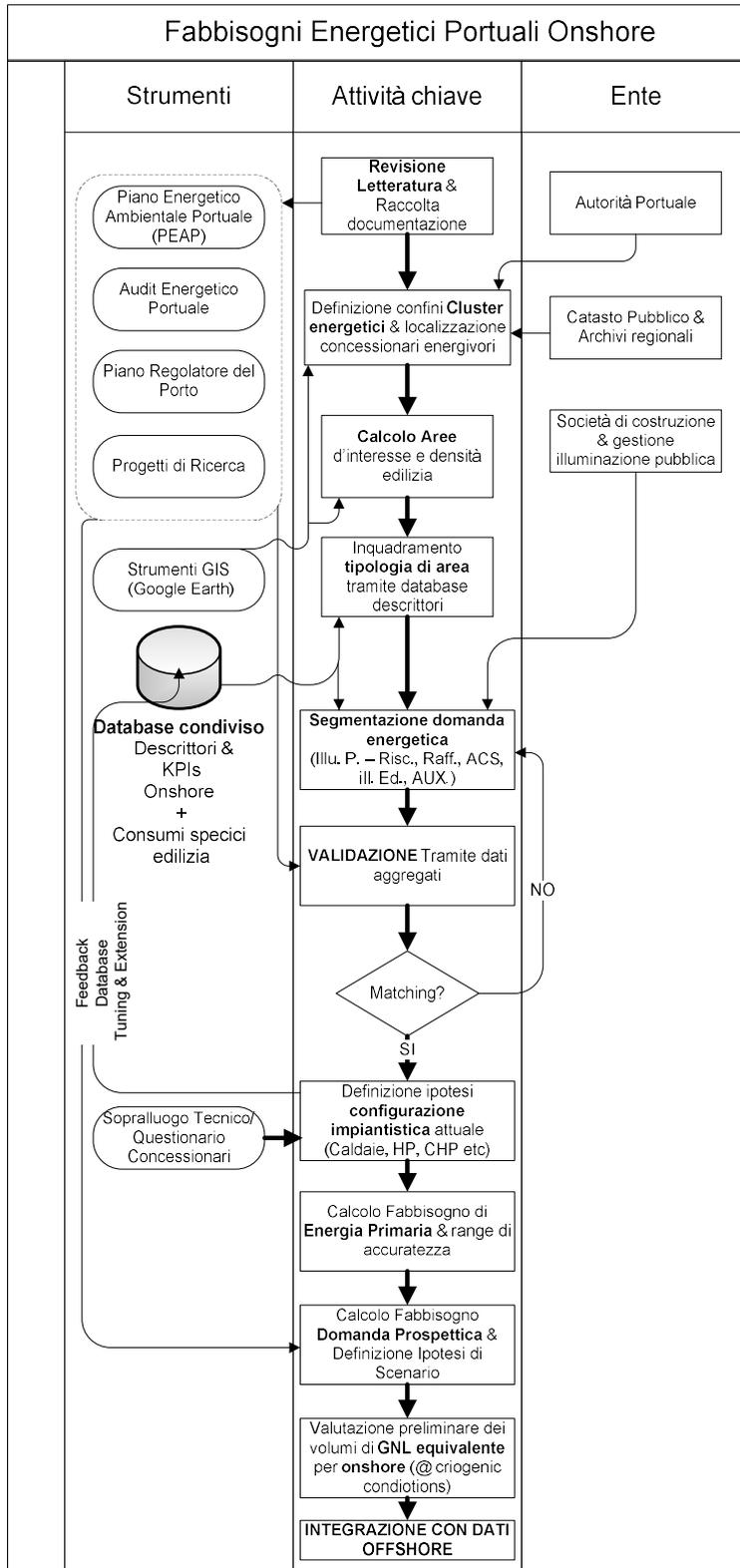


Figure 13. Méthodologie d'évaluation des besoins énergétiques portuaires onshore.

Discussion et conclusions

Dans cette première partie de l'étude, une méthodologie de gestion des processus d'audit énergétique a été proposée pour la segmentation de la demande en énergie primaire dans les zones portuaires liées à des activités exclusivement onshore. Pour ce faire, à partir d'une étude de cas caractéristique, les outils pour supporter cette méthodologie (base de données de descripteurs et ICP) ont été identifiés et conçus en utilisant une méthode heuristique comme stratégie pour augmenter la résolution de l'analyse énergétique, ainsi que pour gérer l'incertitude inhérente aux processus d'évaluation à grande échelle. Sur la base de l'expérience des auteurs, plusieurs points présentent une marge d'amélioration possible qui pourrait contribuer à atteindre un processus d'audit optimal. Dans ce sens, un effort doit être fait à l'avenir dans différentes directions, impliquant des aspects organisationnels et techniques tels que : coordination et implication des parties prenantes, utilisation des technologies ICT pour le contrôle de la consommation en ligne. Services d'accompagnement des parties prenantes pour les sensibiliser à l'utilisation rationnelle de l'énergie et l'identification stratégique des meilleures pratiques dans l'utilisation et le réaménagement des zones portuaires à travers l'utilisation optimale du GNL comme vecteur énergétique alternatif.

Bibliographie et sitographie

[1] Fabbisogni Energetici: case e uffici sotto la lente. Disponibile en ligne:
http://www.eurac.edu/en/research/technologies/renewableenergy/publications/Documents/EURAC_RenEne_RFedrizzici-CDipasqualeetici_CasaAndClima54_042015.pdf (accesso 05/02/2018).

[2] ENEA: Studio comparativo tra fabbisogni energetici netti, lato edificio, sia per la climatizzazione estiva che per quella invernale di edifici residenziali e del settore terziario situati in climi differenti. Disponibile en ligne:
http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/fabbisogni-consumi-energetici/4-univ-pd-ob-b-1.pdf (accesso 05/02/2019).

PARTIE 2

Extension de l'étude aux zones portuaires ciblées

Partie 2 – Extension de la zone d'analyse

AVANT-PROPOS

Cette deuxième partie de l'étude propose d'étendre l'analyse à l'ensemble de la zone ciblée, y compris les ports de Cagliari, Gênes, Oristano, Toulon, Bastia, Nice et Portoferraio. En l'absence d'informations relatives aux données agrégées de consommation pour certaines de ces zones, l'évaluation de la demande énergétique peut être réalisée avec un degré de résolution plus faible (uniquement onshore), par rapport aux zones qui disposent d'une plus grande quantité de données.

Zone portuaire de Cagliari

La zone portuaire de Cagliari analysée dans cette étude a une superficie totale d'environ 2 000 000 m². Les macro-zones identifiées sont assimilables aux catégories 1, 2, 4, 8, 10, 11, 12, 16 et 17 et sont localisées selon une répartition particulière et disparate. Dans le cas du port de Cagliari, la demande totale en énergie primaire onshore, telle qu'on l'entend dans le présent projet, est estimée à environ **27 GWh/an**¹⁸, dont **22 GWh/an** d'électricité estimés.

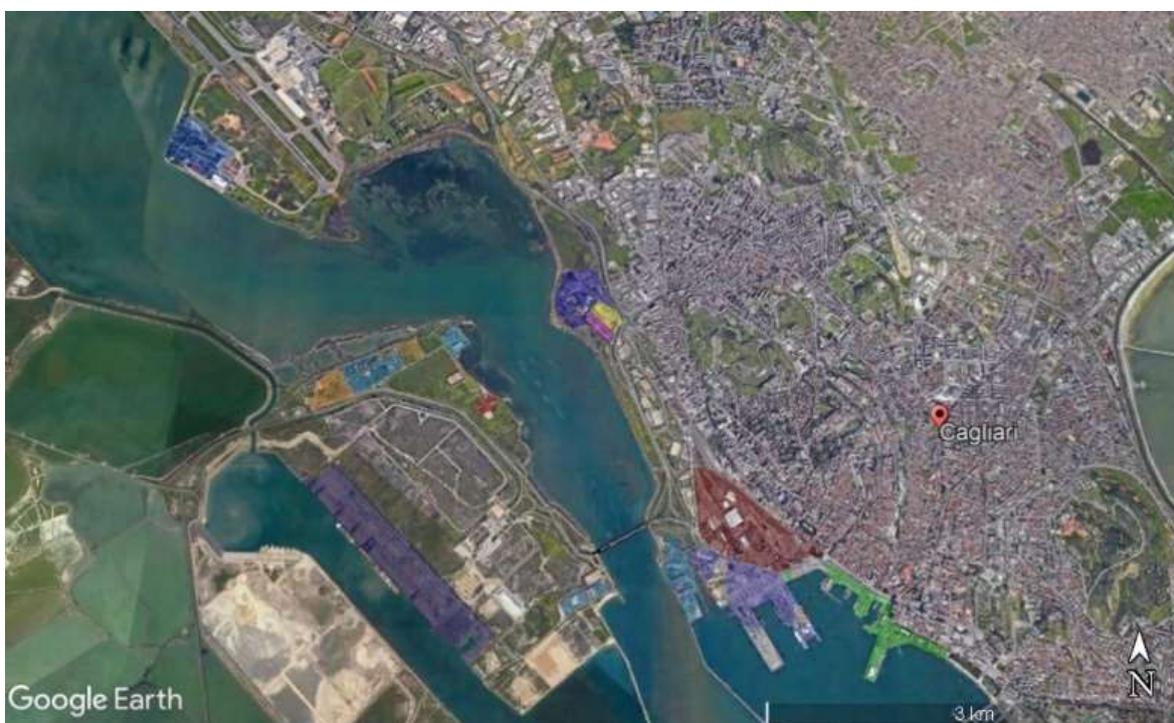


Figure 14. Cagliari, port.

¹⁸ Données sujettes à incertitude.

CAGLIARI	Superficie (m2)	Densité bâtiments (m3_construction / m2_zone)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauff. (kWh/an & kWh/m2 par an)	Refroid. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	Demande totale d'électricité (kWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions cryogéniques
ZONE_1	491 426	0,019	1 339 054	171 525	129 188	169 193	34 225	82 242	1 891 203	303
			2,725	0,349	0,263	0,344	0,070	0,167	3,848	
ZONE_2	242 761	0,190	55 705	523 203	589 266	129 447	351 570	328 137	1 625 757	260
			0,229	2,155	2,427	0,533	1,448	1,35169	6,697	
ZONE_12	140 494	0,762	60 577	750 231	1 018 257	250 748	617 644	263 569	2 343 382	375
			0,431	5,340	7,248	1,785	4,396	1,876	16,680	
ZONE_8	20 727	0,011	81 885	48 449	72 301	7 646	40 086	24 636	234 916	38
			3,951	2,337	3,488	0,369	1,934	1,189	11,334	
ZONE_10mod*	31 897	ND	11 244	493 375	536 907	88 243	311 353	144 112	1 273 881	204
			0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	39,937	
ZONE_16	94 772	1,344	104 838	338 845	1 264 158	252 205	868 279	274 150	2 234 196	357
			1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	23,574	
ZONE_2bis	36 368	0,190	8 345	78 381	88 278	19 392	52 669	49 158	243 555	39
			0,229	2,155	2,427	0,533	1,448	1,35169	6,697	
ZONE_4	13 889	0,155	8 561	23 608	26 145	5 692	15 507	7 951	71 958	12
			0,616	1,700	1,882	0,410	1,116	0,572	5,181	

ZONE_16bis	111 790	1,344	123 664	399 691	1 491 160	297 493	1 024 194	323 378	2 635 385	422
			1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	23,574	
ZONE_14	307 414	0,144	59 343	589 921	584 119	279 056	418 373	188 898	1 701 337	272
			0,193	1,919	1,900	0,908	1,361	0,614	5,534	
ZONE_17	165 634	0,522	40 737	2 528 229	1 161 573	518 279	870 236	354 796	4 603 614	737
			0,246	15,264	7,013	3,129	5,254	2,142	27,794	
ZONE_11	383 540	1,052	74 038	736 005	728 767	348 159	521 976	235 675	2 122 645	1 652
			0,193	1,919	1,900	0,908	1,361	0,614	5,534	
ZONE_16tris	41 786	1,344	46 224	149 400	557 381	111 200	382 834	120 876	985 081	158
			1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	23,574	

Tableau 11: Demande actuelle d'énergie primaire, port de Cagliari.

NB

En attente de validation pour les cases orange.

Zone portuaire de Gênes

La zone portuaire de Gênes analysée dans cette étude a une superficie totale d'environ 5 900 000 m². Les macro zones ciblées sont assimilables aux catégories 1, 2, 7, 8, 10, 11, 14, 16 et 17. La demande totale d'énergie primaire onshore dans le cas du port de Gênes est estimée à environ **90 GWh/an**¹⁹, dont **74 GWh/an d'électricité** présumés.



Figure 15: Gênes, port.

¹⁹ Données sujettes à incertitude.

GÉNES	Superficie (m2)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauff. (kWh/an & kWh/m2 par an)	Refruid. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	SUBTOTAL DEMANDE D' ÉLECTRICITÉ (kWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions cryogéniques
ZONE_17	268 164	65 953	4 093 242	1 880 604	839 102	1 408 926	574 420	7 453 321	1 418
		0,246	15,264	7,013	3,129	5,254	2,142	27,794	
ZONE_14	230 948	44 582	443 185	438 826	209 644	314 307	141 911	1 278 147	255
		0,193	1,919	1,900	0,908	1,361	0,614	5,534	
ZONE_11	74 766	43 948	713 641	858 406	175 341	465 191	221 001	2 012 337	396
		0,588	9,545	11,481	2,345	6,222	2,956	26,915	
ZONE_16	187 227	207 113	669 406	2 497 409	498 244	1 715 330	541 597	4 413 770	981
		1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	23,574	
ZONE_15	408 707	452 118	1 461 279	5 451 717	1 087 642	3 744 478	1 182 279	9 635 034	2 141
		1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	23,574	
ZONE_1	208 000	566 765	72 599	71 612	34 810	54 680	14 486	760 273	130
		2,725	0,349	0,344	0,167	0,263	0,070	3,655	
ZONE_1C	150 000	133 281	96 652	95 396	45 690	68 340	38 684	409 703	76
		0,89	0,64	0,64	0,30	0,46	0,26	2,731	
ZONE_1Cbis	555 297	493 404	357 803	353 156	169 143	252 992	143 207	1 516 712	283
		0,89	0,64	0,64	0,30	0,46	0,26	2,731	
ZONE_1Ctris	106 000	94 185	68 301	67 413	32 288	48 293	27 337	289 523	54
		0,889	0,644	0,636	0,305	0,456	0,258	2,731	

ZONE_17bis	445 987	109 688	6 807 523	3 127 657	1 395 521	2 343 203	955 326	12 395 715	2 358
		0,246	15,264	7,013	3,129	5,254	2,142	27,794	
ZONE_16bis	16 301	18 032	58 282	217 438	43 380	149 346	47 154	384 287	85
		1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	23,574	
ZONE_10bis	22 620	7 974	349 881	380 752	62 578	220 798	102 198	903 383	180
		0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	39,937	
ZONE_10	231 721	81 684	3 584 205	3 900 449	641 056	2 261 876	1 046 927	9 254 321	1 843
		0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	39,937	
ZONE_7	149 357	297 042	175 753	262 276	27 736	145 414	89 368	852 175	160
		1,989	1,177	1,756	0,186	0,974	0,598	5,706	
ZONE_16tris	57 452	63 554	205 412	766 349	152 890	526 362	166 193	1 354 398	301
		1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	23,574	
ZONE_1quatri s	981 568	2 674 609	342 603	337 945	164 270	258 039	68 361	3 587 787	615
		2,725	0,349	0,344	0,167	0,263	0,070	3,655	
ZONE_2	17 775	4 079	38 309	43 146	9 478	25 742	24 026	119 038	23
		0,229	2,155	2,427	0,533	1,448	1,352	6,697	
ZONE_8	29 868	117 997	69 816	104 187	11 018	57 764	35 501	338 519	63
		3,951	2,337	3,488	0,369	1,934	1,189	11,334	
ZONE_17tris	25 840	6 355	394 420	181 213	80 855	135 763	55 351	718 194	137
		0,246	15,264	7,013	3,129	5,254	2,142	27,794	
ZONE_7bis	79 000	157 116	92 962	138 727	14 670	76 914	47 270	450 744	84
		1,989	1,177	1,756	0,186	0,974	0,598	5,706	

Zone_10tris (ex ILVA)	1 349 000	1 214 100	5 369 020	6 610 100	687 990	2 608 956	1 603 401	15 484 611	2 895
		0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	39,937	

Tableau 12: Évaluation de la demande actuelle d'énergie primaire, port de Gênes (les espaces verts ont été validés et dûment comparés à la demande totale d'énergie primaire + électricité + gasoil + essence. Pour les zones signalées en orange, aucune information sur la consommation agrégée ne nous est parvenue).

Zone portuaire de Bastia

La zone portuaire de Bastia analysée dans cette étude a une superficie totale d'environ 215 427 m². Cette zone portuaire est donc la plus petite des zones considérées dans cette étude. Les macro zones ciblées sont assimilables aux catégories 10, 16 et 17. La demande totale d'énergie primaire onshore dans le cas du port de Bastia est estimée à environ **8 GWh/an²⁰ dont 7 GWh/an d'électricité présumés.**



Figure 16: Bastia, port.

²⁰ Données sujettes à incertitude.

BASTIA	Superficie (m2)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauff. (kWh/an & kWh/m2 par an)	Refroid. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	SUBTOTAL DEMANDE D' ÉLECTRICITÉ (kWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions
ZONE_17	97 647	24 016	1 490 479	684 788	305 544	513 035	209 165	2 713 990	516
		0,246	15,264	7,013	3,129	5,254	2,142	27,794	
ZONE_16	34 604	38 279	123 722	461 581	92 087	317 034	100 100	815 770	181
		1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	64,895	
ZONE_16bis	13 046	14 432	46 644	174 020	34 718	119 524	37 739	307 552	68
		1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	64,895	
ZONE_10	70 130	24 721	1 084 754	1 180 465	194 015	684 553	316 851	2 800 806	558
		0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	104,989	

Tableau 13: Besoins actuels en énergie primaire, port de Bastia.

Zone portuaire de Nice

La zone portuaire de Nice analysée dans cette étude a une superficie totale d'environ 809 000 m². Les macro zones ciblées sont assimilables aux catégories 10, 17 et 18. La demande totale d'énergie primaire onshore dans le cas du port de Nice est estimée à environ 8 GWh/an²¹, dont 7 GWh/an d'électricité présumés. Plus précisément, les besoins actuels en énergie primaire pour la zone portuaire de Nice passeraient à 14 GWh/an, dont 13 GWh/an d'électricité estimés, compte tenu également de la zone ouest (zone 10) adjacente à l'aéroport.



Figure 17: Nice, port.



Figure 18: Nice, zone limitrophe aéroport.

²¹ Données sujettes à incertitude.

NICE	Superficie (m2)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauff. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	Refruid. (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	SUBTOTAL DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ (kWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions cryogéniques
ZONE_17	92 460	22 740	1 411 305	648 412	289 313	485 782	198 054	2 766 292	489
		0,246	15,264	7,013	3,129	5,254	2,142	29,919	
ZONE_18	8 062	2 997	9 001	8 884	4 255	6 364	3 086	30 331	6
		0,372	1,116	1,102	0,528	0,789	0,383	3,762	
ZONE_10bis	466 737	201 242	1 392 763	1 374 675	658 397	984 782	451 338	4 404 801	810
		0,431	2,984	2,945	1,411	2,110	0,967	9,437	
ZONE_10	88 764	31 290	1 372 980	1 494 122	245 566	866 443	401 040	4 165 876	706
		0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	46,932	
ZONE_10tris	152 935	65 941	456 365	450 438	215 736	322 682	147 889	1 443 314	265
		0,431	2,984	2,945	1,411	2,110	0,967	9,437	

Tableau 14: Besoins actuels en énergie primaire, zone portuaire de Nice.

Zone portuaire de Toulon

La zone portuaire de Toulon analysée dans cette étude a une superficie totale d'environ 3 162 000 m². Les macro zones identifiées sont assimilables aux catégories 10, 11, 13, 14, 16, 17 et 18. La demande totale d'énergie primaire onshore dans le cas du port de Toulon est estimée à environ **51 GWh/an²²**, dont **40 GWh/an d'électricité présumés**. En particulier, la forte concentration énergétique est le résultat d'une prévalence de zones fortement urbanisées (zone 10).

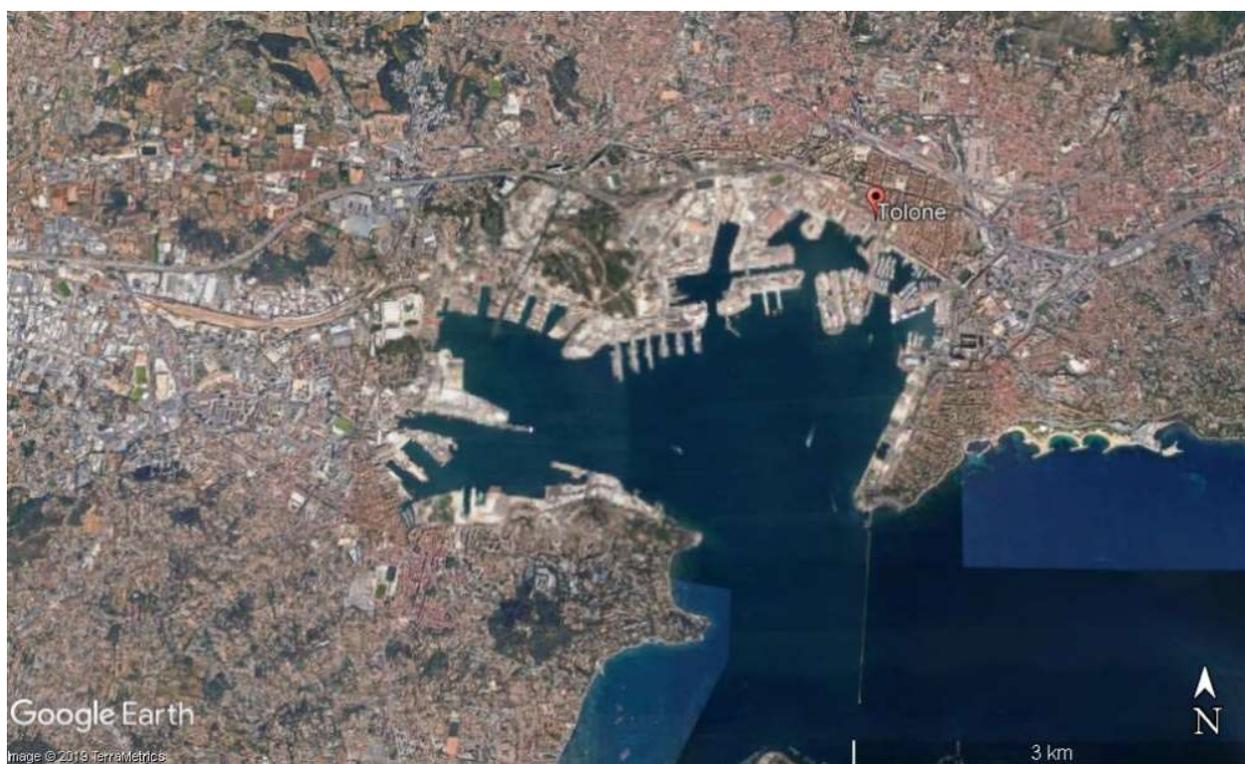


Figure 19: Toulon, port.

²² Données sujettes à incertitude.

TOULON	Superficie (m2)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauff. (kWh/an & kWh/m2 par an)	Refroid. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	SUBTOTAL DEMANDE D' ÉLECTRICITÉ (kWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions cryogéniques
ZONE_10tris	1 503 740	423 586	993 034	1 411 580	512 139	993 896	423 484	3 763 823	761
		0,282	0,660	0,939	0,341	0,661	0,282	2,503	
ZONE_10bis	165 839	58 460	2 565 158	2 791 489	458 794	1 618 788	749 269	6 623 169	1319
		0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	39,937	
ZONE_14	154 607	29 845	296 688	293 770	140 345	210 411	95 002	855 649	171
		0,193	1,919	1,900	0,908	1,361	0,61447	5,534	
ZONE_10	162 366	57 236	2 511 438	2 733 030	449 186	1 584 887	733 578	6 484 467	1291
		0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	104,989	
ZONE_16	117 956	130 485	421 736	1 573 408	313 902	1 080 685	341 215	2 780 745	618
		1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	23,574	
ZONE_13	77 048	21704	50881	72326	26241	50925	21698	192849	39
		0,282	0,660	0,939	0,341	0,661	0,282	2,503	
ZONE_11	211 097	124085	2014920	2423654	495064	1313438	623982	5681704	1119
		0,588	9,545	11,481	2,345	6,222	2,956	26,915	
ZONE_18	255 232	94866	284946	281245	134702	201477	97709	893469	175
		0,372	1,116	1,102	0,528	0,789	0,383	3,501	

ZONE_17	229 783	56 514	3 507 396	1 611 443	719 005	1 207 273	492 206	6 386 564	1215
		0,246	15,264	7,013	3,129	5,254	2,142	27,794	
ZONE_16bis	284 620	314851	1017622	3796528	757424	2607622	823329	6709754	1491
		1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	23,574	

Tableau 15: Besoins actuels en énergie primaire, zone portuaire de Toulon.

Zone portuaire d'Oristano

La zone portuaire d'Oristano analysée dans cette étude a une superficie totale d'environ 937 500 m². Les macro zones ciblées sont assimilables aux catégories 10, 6A, et 4. La demande totale d'énergie primaire onshore dans le cas du port d'Oristano est estimée à environ **20 GWh/an**²³. Dans la zone, une grande partie des bâtiments industriels sont équipés d'un système photovoltaïque, une grande partie de la demande évaluée en énergie primaire doit donc être considérée brute de production d'électricité renouvelable.



Figure 20: Oristano, port.

²³ Données sujettes à incertitude concernant la zone onshore.

ORISTANO	Superficie (m2)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauff. (kWh/an & kWh/m2 par an)	Refroid. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	SUBTOTAL DEMANDE D' ÉLECTRICITÉ (kWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions cryogéniques
ZONE_10tris	75 309	26 547	1 164 861	1 267 641	208 342	735 106	340 250	3 007 641	599
		0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	39,937	
ZONE_10bis	57 083	20 122	882 946	960 851	157 920	557 199	257 904	2 279 743	454
		0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	39,937	
ZONE_6A	186 812	70 298	178 725	211 827	42 714	125 842	62 940	566 504	111
		0,376	0,957	1,134	0,229	0,674	0,337	3,032	
ZONE_10	146 355	51 592	2 263 784	2 463 524	404 891	1 428 601	661 239	5 845 030	1164
		0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	39,937	
ZONE_10quinc	25 294	8 916	391 241	425 762	69 976	246 900	114 280	1 010 175	201
		0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	39,937	
ZONE_4	119 382	73584	202925	224732	48921	133286	68345	618507	120
		0,616	1,700	1,882	0,410	1,116	0,572	5,181	
ZONE_4bis	216 499	133444	368004	407551	88719	241715	123943	1121661	218
		0,616	1,700	1,882	0,410	1,116	0,572	5,181	
ZONE_4tris	51 217	31569	87058	96414	20988	57182	29321	265351	52
		0,616	1,700	1,882	0,410	1,116	0,572	6,297	

ZONE_10quattris	59 588	18054	792212	862111	141692	499939	231401	2045471	407
		0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	34,327	

Tableau 16: Besoins actuels en énergie primaire, zone portuaire d'Oristano.

Zone portuaire de Portoferraio

La zone portuaire de Portoferraio analysée dans cette étude a une superficie totale d'environ 526 970 m². Les macro zones ciblées sont assimilables aux catégories 17, 16 et 10. La demande totale d'énergie primaire onshore dans le cas du port d'Oristano est estimée à environ **21 GWh/an²⁴**, dont **16 GWh/an d'électricité présumés**. Toutefois, si l'on exclut la zone 10 (en jaune, figure 24), la demande totale d'énergie primaire tomberait à 10 GWh/an, dont 7 GWh/an présumés d'électricité.



Figure 21: Portoferraio, port.

²⁴ Données sujettes à incertitude concernant la zone onshore.

PORTOFERRAIO	Superficie (m2)	Éclair. Public (kWh/an & kWh/m2 an)	Éclair. bâtiments (kWh/an & kWh/m2 par an)	Chauff. (kWh/an & kWh/m2 par an)	Refroid. (kWh/an & kWh/m2 par an)	ACS (kWh/an & kWh/m2 par an)	AUX (kWh/an & kWh/m2 par an)	SUBTOTAL DEMANDE D' ÉLECTRICITÉ (kWh/an)	mètres cubes/an équivalents GNL @ Conditions cryogéniques
ZONE_10	225 830	79 607	3 493 084	3 801 289	624 759	2 204 372	1 020 311	9 019 050	1796
		0,353	15,468	16,833	2,767	9,761	4,518	39,937	
ZONE_16	32 037	35 440	114 544	427 340	85 256	293 516	92 674	755 254	168
		1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	23,574	
ZONE_16bis	232 217	256 882	830 262	3 097 528	617 971	2 127 518	671 741	5 474 383	1216
		1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	23,574	
ZONE_17	36 886	40 804	131 881	492 020	98 160	337 941	106 701	869 566	193
		1,106	3,575	13,339	2,661	9,162	2,893	23,574	

Tableau 17: Besoins actuels en énergie primaire, zone portuaire de Portoferraio..

Vue d'ensemble

La figure 22 présente la demande en énergie primaire pour l'ensemble de la zone ciblée en milieu onshore (bureaux + entrepôts + bâtiments résidentiels + éclairage aires de manœuvre). On a donc supposé que l'origine de cette demande est essentiellement électrique, de sorte que le chauffage est également assuré par une pompe à chaleur plutôt que par une chaudière à combustible fossile, alors que la production d'ECS est censée être assurée par une chaudière classique alimentée par un combustible fossile (gaz naturel ou gasoil). Comme indiqué plus haut, on suppose que cette évaluation s'élève à environ 5-15 % de la demande totale d'énergie, pour les secteurs à haute intensité énergétique tels que la construction navale et la manutention conteneurs (terminal multipurpose avec terminal de transbordement). L'équivalent théorique actuel du GNL pour le secteur onshore est estimé à environ **35 800 m³ par an pour la seule partie électrique**.

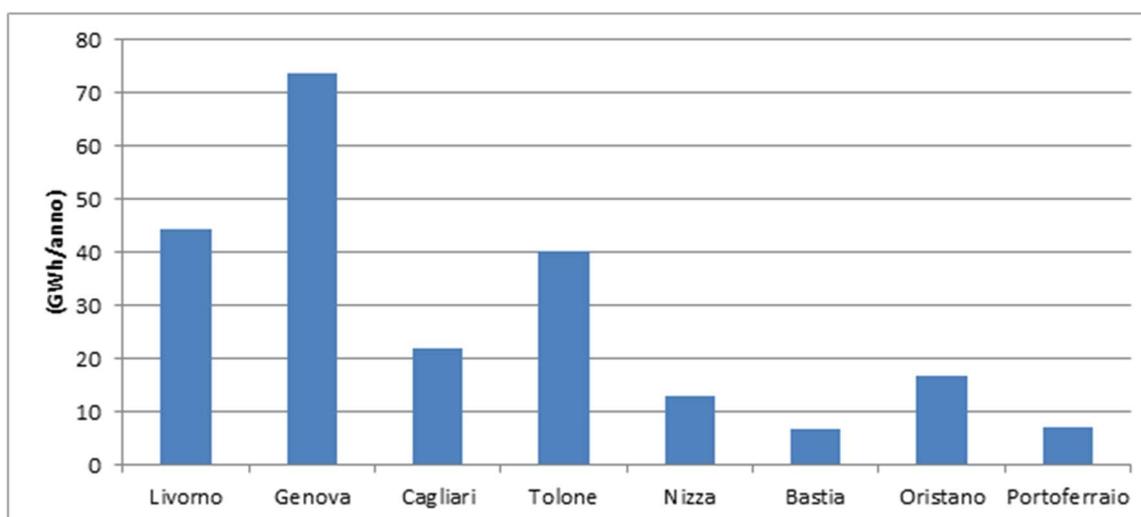


Figure 22: Sous-total de la demande actuelle d'électricité, pour l'ensemble de la zone ciblée.

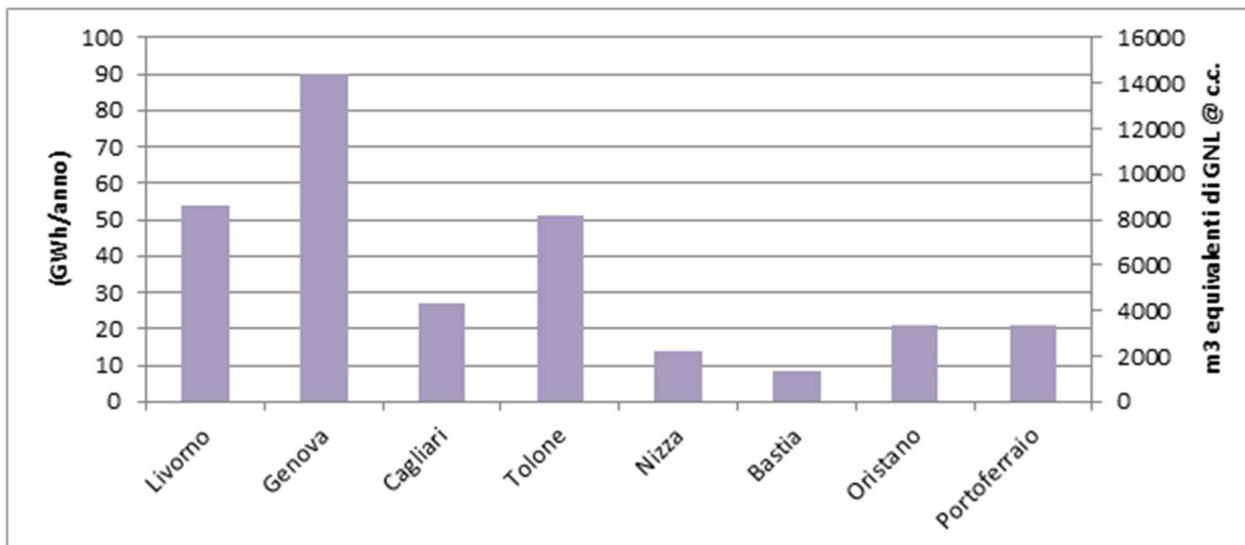


Figure 23: Demande totale d'énergie actuelle (électrique + thermique), pour l'ensemble de la zone ciblée.

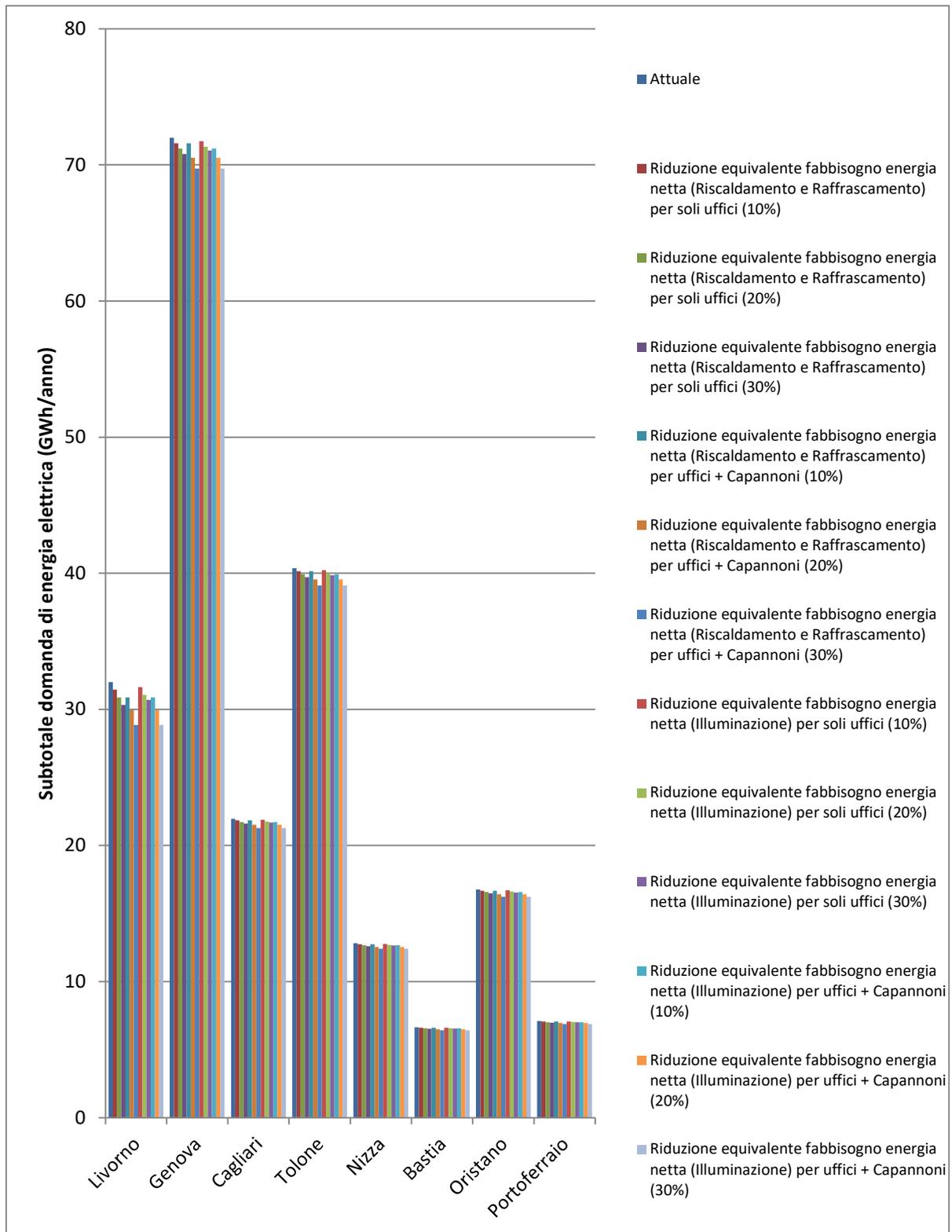


Figure 24: Évaluation de la demande prospective totale d'énergie (électrique) pour différents scénarios et interventions de requalification.

Conclusions

Cette étude a présenté une méthodologie pour l'élaboration d'une évaluation énergétique flexible et itérative. Plus précisément, cette méthodologie vise à identifier une stratégie de gestion qui permette de réduire systématiquement, à travers les différentes phases du processus, les risques techniques et l'inévitable incertitude que comporte l'analyse et qui pourraient affecter l'ensemble du processus de project management. La conception de cette méthodologie a été réalisée selon une approche de type bottom-up, à partir d'une étude de cas caractéristique : la zone portuaire de Livourne. À partir de cet échantillon, les outils nécessaires à l'extrapolation des valeurs quantitatives des besoins en énergie primaire pour toutes les zones ciblées ont été définis, notamment : les ports de Gênes, Cagliari, Toulon, Nice, Bastia, Oristano et Portoferraio. L'analyse effectuée fait apparaître un tableau présentant des marges d'amélioration énergétique intéressantes qui, en général, pourraient concerner différents domaines, allant de la réduction des besoins énergétiques pour l'éclairage des aires de manœuvre, à l'utilisation d'une technologie (micro-cogénération par exemple) permettant une production énergétique plus efficace. Pour les zones de manutention conteneurs, il convient d'évaluer la possibilité de réaliser des interventions stratégiques afin de réduire les besoins énergétiques pour la réfrigération des conteneurs, notamment pour les ports commerciaux de Livourne, Gênes, Toulon et Cagliari. Notons que les besoins en énergie primaire de la zone onshore évaluée dans cette étude sont, dans tous les ports, principalement liés à une demande d'électricité. Cette prépondérance dérive de l'hypothèse que tous les bâtiments sont équipés de pompes à chaleur pour la climatisation et le chauffage. En réalité, certains d'entre eux peuvent, dans une moindre mesure, être équipés d'une chaudière alimentée au gasoil ou au gaz naturel. Par conséquent, il est clair que cette hypothèse pourrait conduire à une surestimation de la consommation estimée avec cette méthodologie.

Par conséquent, il pourrait être possible de recalculer un besoin en électricité jusqu'à 15% inférieur aux estimations actuelles, il en résulterait une augmentation proportionnelle des besoins en énergie thermique.

En conclusion, on a calculé que les valeurs quantifiables à l'aide des outils méthodologiques proposés dans cette étude (ICP), permettent une segmentation précise d'une quote-part de la demande d'énergie primaire qui représenterait environ 5-15% de la demande totale d'énergie primaire des zones portuaires les plus "énergivores", à savoir les terminaux multipurpose et la construction navale²⁵. L'évaluation de la consommation énergétique de cette partie restante peut être facilement réalisée en la calculant comme la différence entre la consommation totale d'énergie primaire et les valeurs estimées en

²⁵ Cette évaluation pourrait ne pas être valable pour les zones dont les activités sont différentes de celles décrites.

utilisant l'outil méthodologique proposé dans cette étude. En conclusion, une attention particulière doit être portée lors de la phase de classification des zones afin de garantir un choix cohérent des activités réellement réalisées dans chaque zone.

Enfin, il est essentiel de souligner que cet outil est un levier stratégique pour les phases préliminaires de l'évaluation énergétique, permettant une analyse facile et une exécution rapide. Cependant, pour une segmentation énergétique précise, il est toujours nécessaire d'approfondir et de valider les résultats par des audits énergétiques conventionnels (type I, II ou III) au niveau du bâtiment-système.

Precisions

Il est important de prêter attention aux résultats qui sont ressortis du rapport T 1.3.2 "Base de données sur la demande de GNL", afin de faire une comparaison correcte avec ce qui est rapporté dans ce document. En fait, les éléments de preuve qui ressortent de l'analyse présentée dans ce document sembleraient différents de ceux rapportés dans le document T 1.3.2. En fait, les deux travaux aboutissent aux mêmes résultats.

Pour comprendre et interpréter correctement les documents, il est nécessaire de prêter attention aux hypothèses et à l'approche qui a été suivie dans leur élaboration.

En ce qui concerne les résultats proposés dans ce document, il est important de rappeler comment l'analyse a été basée sur les données de consommation traitées à partir du calcul des KPIs spécifiques pour chaque domaine d'intérêt, à partir des données mesurées. L'estimation est donc très précise pour la zone à laquelle elle se réfère, c'est-à-dire l'estimation de l'énergie primaire actuelle pour les ports considérés, compte tenu de l'éclairage public, des hangars équipés de systèmes techniques, des bureaux et des bâtiments résidentiels. Les estimations n'incluent pas les conteneurs réfrigérés, les hangars spéciaux et la consommation de diesel pour les activités de manutention des marchandises. Il convient de rappeler que, en ce qui concerne uniquement les terminaux polyvalents et de construction navale, ces estimations couvrent environ 5 à 15% de la demande totale d'énergie. Pour les autres types de terminaux, ces estimations peuvent représenter des proportions supérieures par rapport au total.

En ce qui concerne les estimations d'énergie primaire rapportées dans le rapport T 1.3.2, les résultats rapportés dans la base de données sur la demande de GNL sont obtenus en considérant les contributions suivantes :

- Demande maritime de GNL ;
- Demande portuaire de GNL ;
- Demande terrestre de GNL.

Il est donc clair que les écarts constatés entre les résultats rapportés dans les deux rapports proviennent des différentes contributions considérées.

En projetant les valeurs sur la base de leur poids sur le pourcentage total de consommation, les valeurs réalisables s'alignent sur des valeurs comparables et qui confirment la qualité des deux méthodes d'estimation de la consommation.