

PROJET REPORT

“Bruit et Ports”

CUP E48B17001310007

Output T3.1

Etude conjointe de vérification des modèles de simulation et des scénarios de prévision

Composante T3

Date de livraison prévue: 08/2020

Date de livraison effective: 10/2021

Partner responsable: **Università di Pisa (UNIFI)**

Niveau de diffusion		
PU	Public	X
CO	Confidentiel	

Numero du document à livrer:	T3.1
Responsable du document à livrer:	UNIFI
Composante:	T3

Auteur/s - par ordre alphabétique		
Nom	Partner	E-mail
Francesco Fidecaro	UNIFI	francesco.fidecaro@unifi.it
Luca Fredianelli	UNIFI (assegnista di ricerca)	fredianelli@df.unifi.it

Revisione del Documento			
Version	Date	Modifiche	
		Tipo di modifiche	Modificato da

Sintesi
<p>Les résultats de T3.1 valident les résultats de T2.1 en réalisant des études de vérification conjointes de chaque modèle de simulation, confirmant son efficacité afin d'atteindre correctement l'objectif spécifique relatif à la création de modèles de simulation multidisciplinaires pour l'évaluation du bruit en zone portuaire.</p>

1 Introduction

La composante T3 du projet REPORT réalise les études de validation des modèles développés lors de la composante T2 et évalue leur éventuelle mise en œuvre au sein de l'END. Les modèles soumis à validation concernent les activités suivantes de la composante T2 :

- Activité T2.1 : Développement d'un modèle de simulation du bruit ;
- Activité T2.2 : Analyse des émissions sonores au fur et à mesure que les conditions de circulation varient à travers des interventions de gestion et de régulation ;
- Activité T2.3 : Analyse des émissions sonores des activités portuaires pour la circulation des marchandises et des personnes dans l'hypothèse de nouveaux vecteurs énergétiques de propulsion.

L'activité T2.1 menée par le partenaire CSTB a permis le développement d'une série d'outils pour la modélisation des sources de bruit en milieu portuaire, en particulier les navires de commerce et les porte-conteneurs.

L'activité T2.2 a vu le partenaire de l'UNICA s'engager dans le développement d'un réseau neuronal capable d'estimer les niveaux de bruit générés par le réseau routier en temps réel sur la base des données de trafic.

Le Département d'Ingénierie du partenaire UNIFI, au cours de l'Activité T2.3, d'autre part, a évalué la réduction des émissions sonores obtenue grâce à l'introduction de véhicules à propulsion électrique à l'intérieur des zones de chargement et de déchargement des conteneurs à l'intérieur des grands ports commerciaux.

2 Livrable T3.1.1

La validation de l'outil développé par le partenaire du CSTB a eu lieu en comparant les résultats obtenus grâce à cet outil avec les résultats obtenus grâce à un logiciel commercial actuellement disponible dans la modélisation d'un scénario portuaire. En particulier, la validation a exploité les résultats des campagnes de caractérisation acoustique de trois navires dans le port de Cagliari pour reconstituer autant de scénarios dans MithraSIG 5.4 et dans SoundPLAN 8.1. Dans la Figure 1 les régions du port de Cagliari objet des simulations sont mises en évidence. Suite à la modélisation des scénarios, une comparaison a été faite entre les résultats obtenus par les deux logiciels en termes de niveaux de bruit.

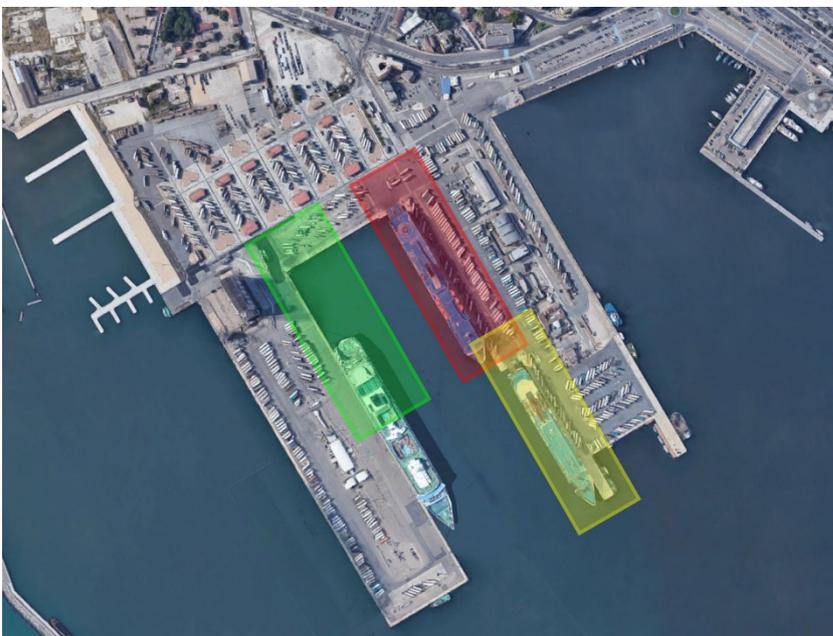


Figure 1: Les quais du Port de Cagliari correspondant aux scénarios modélisés : jetée « Sabauda » en rouge, jetée « Dente Sabauda » en jaune et jetée « Levante Rinascita » en vert.

Pour obtenir les puissances sonores et les spectres des sources présentes dans les navires, un outil spécial de SoundPLAN 8.1 a été utilisé qui exploite les relations inverses du calcul de propagation. Afin d'utiliser cet outil, les trois scénarios sur SoundPLAN 8.1 ont été préalablement reconstruits, indiquant les niveaux de bruit mesurés, les stations de mesure et les positions des sources du navire, dont une zone représentant les opérations de chargement et de déchargement. Les puissances sonores et les spectres obtenus par l'instrument ont ensuite été attribués aux sources respectives. Nous soulignons comment dans cette phase la coque des navires a été insérée manuellement via l'outil de modélisation du bâtiment. Dans la Figure 2 le modèle du Molo Sabauda dans SoundPLAN est montré à titre d'exemple.

Ainsi, après avoir défini les caractéristiques des sources, il a été possible de procéder à la modélisation au sein de MithraSIG (Figure 3) grâce à l'outil Port et aux outils spécifiques à la zone portuaire mis à disposition. Les outils, comme déjà décrits, permettent l'introduction

d'un modèle 3D précis du navire basé sur des quotas fournis par l'utilisateur et l'insertion des différentes sources sonores du navire selon des schémas prédéfinis. Dans les deux logiciels, la modélisation des phases de chargement/déchargement a eu lieu à l'aide d'outils génériques tels que des sources étendues en surface et ponctuelles.

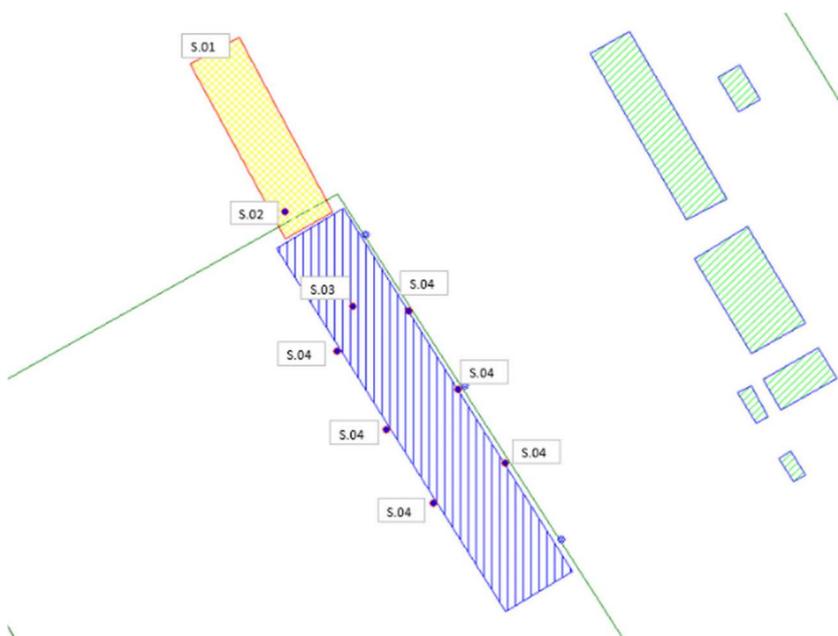


Figure 2 : Les sources de la jetée Savoy au sein du logiciel SoundPLAN.

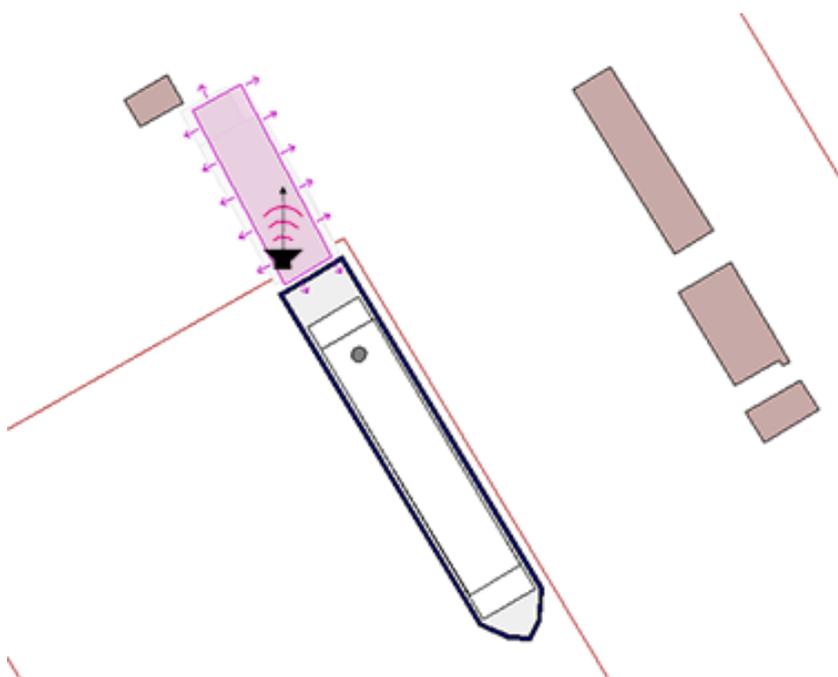


Figure 3 : Les ressorts de la jetée Savoy au sein du logiciel MithraSIG.

Malgré les divers différences constatées entre les deux logiciels, une fois les méthodes de saisie standardisées, la différence entre les résultats au niveau des récepteurs était inférieure à ± 1 dB (A) (Tableau 1).

Tableau 1 : Comparaison entre les valeurs obtenues avec SoundPLAN et MithraSIG.

Scenario	Récepteur	SoundPLAN	MithraSIG	Delta
		L _{Aeq} diurne [dB(A)]	L _{Aeq} diurne [dB(A)]	L _{Aeq} diurne [dB(A)]
Quai Sabauda	P01 - Molo	88.2	87.6	0.6
	P02 - Fabbricatino (Bar)	88.3	87.4	0.9
Quai Dente Sabauda	P01 -Molo	93.8	93.8	0.0
	P02 - Sabauda ext (6° ormeggio)	78.8	78.7	0.1
Quai Levante Rinascita	P01 - Molo	95.3	95.0	0.3
	P02 - Fabbricatino	90.8	90.6	0.2
	P03 - Fabbricatino (bar)	73.6	73.6	0.0

Les difficultés rencontrées dans la réalisation du scénario ne sont imputables qu'à deux cas.

Dans le cas du bruit de ventilation placé sur les côtés des objets du navire, à l'aide de l'outil Porto, il était difficile de positionner les sources ponctuelles dans leurs positions réelles, cependant cela n'a pas entraîné de différence dans les résultats, probablement à cause de leur puissance acoustique (L_w) était beaucoup plus faible par rapport aux autres sources actives, en premier lieu celle des entonnoirs. De plus, à longue distance, de faibles écarts de positionnement de certaines sources de faible puissance acoustique sont imperceptibles en termes de niveau sonore.

Une autre cause de complications était l'utilisation de la source volumétrique comme simple source surfacique : il s'agissait d'une série de tentatives pour pouvoir standardiser les deux modes de représentation de l'activité de chargement/déchargement portuaire à quai.

Le résultat en termes de différence entre les niveaux est considéré comme acceptable, donc les résultats des deux logiciels peuvent être considérés comme équivalents.

Pour affirmer cela, il faut tenir compte du fait que le calcul effectué avec un logiciel de modélisation 3D implique une incertitude intrinsèque due aux erreurs possibles causées par ce qui, en effet, est une approximation de la réalité, et à certaines caractéristiques de la source et du récepteur . Selon la réglementation technique en vigueur, compte tenu de la hauteur des sources en jeu et des distances source/récepteur, l'erreur intrinsèque à associer aux simulations effectuées est de l'ordre de ± 1 dB(A), on peut donc conclure que la validation est particulièrement satisfaisante.

In fine, le logiciel développé par le partenaire du CSTB permet une insertion rapide d'un navire complet avec ses principales sources sonores au sein d'un modèle 3D d'une zone portuaire sans compromettre la qualité des résultats. Ceci constitue une économie significative en termes de temps et de ressources qui augmente avec l'augmentation du nombre de navires impliqués.

Au moment de la validation, il n'était pas possible d'indiquer le temps pendant lequel un seul navire était présent ou non au port, mais seulement le pourcentage de temps pendant lequel ses sources étaient actives, l'utilisation de l'outil s'est donc limitée aux modélisation de scénarios bien définis qui ne prévoient pas l'alternance de nombreux bateaux. Par exemple, cela excluait son utilisation dans des études d'exposition sur des périodes prolongées dans lesquelles la géométrie du scénario rend les effets d'ombre géométrique générés par les bateaux non négligeables. Néanmoins, dans les scénarios où les bateaux n'interfèrent pas significativement avec la propagation du bruit provenant d'autres sources, l'outil développé a tout de même garanti une pleine validité et a permis d'énormes économies en termes de temps de modélisation, et donc de ressources économiques à investir. Cependant, avec la sortie des mises à jour récentes, une fonction a été mise en place qui doit permettre de prendre en compte le temps passé par le navire à quai et donc de réaliser des études sur des périodes prolongées en considérant correctement les effets d'ombre géométriques provoqués par la présence ou absence de bateaux. Cette fonctionnalité, si elle est confirmée valide, permettra une modélisation de zones portuaires complexes avec des temps bien inférieurs et une précision supérieure à celles actuelles.

3 Livrable T3.2.1

Pour confirmer et évaluer la cohérence et la répétabilité des résultats obtenus à partir du réseau de neurones développé par UNICA, le projet prévoit une activité de validation spécifique à travers des campagnes spécifiques de mesure et de simulation. C'est pourquoi ARPAT, en accord avec UNICA, a défini un plan de validation précis. Le plan peut se résumer aux phases suivantes :

- réalisation d'une campagne de mesures sur un scénario nouveau sur le réseau (port de Cagliari);
- formation du réseau sur une fraction des données de suivi par UNICA;
- génération d'estimations des niveaux de bruit à travers le réseau de neurones sur la base des données de trafic uniquement, par UNICA;
- simulation du scénario sur un logiciel de prévision classique (SoundPLAN) par ARPAT;
- comparaison des estimations fournies par le réseau de neurones et celles fournies par les logiciels de prévision traditionnels avec les niveaux mesurés lors de la surveillance;
- comparaison du niveau d'incertitude du réseau avec celui fourni par les logiciels traditionnels.

La première étape de la validation a été réalisée en réalisant une campagne de surveillance spécifique dans le réseau routier qui entoure le Vieux-Port et en particulier les régions du Bassin du Ponente et du Bassin Intérieur Port. Contrairement à ce qui est spécifiquement indiqué par UNICA, lors de la phase de suivi, celui-ci a été réalisé séparément pour deux tronçons distincts du réseau. Dans la Figure 4 une image satellite de la zone est montrée dans laquelle le réseau routier de la ville et les stations de mesure sont mises en évidence.



Figure 4 : Détail du réseau routier surveillé avec indication de la position des unités de surveillance acoustique et des compteurs de trafic. En vert les points de la partie « a » du suivi, en bleu les points relatifs à la partie « b » du suivi.

La surveillance a été effectuée pendant une durée continue d'au moins 52 heures chacune. L'enregistrement des niveaux de bruit ambiant et des flux de circulation ainsi que les vitesses divisées par catégories (véhicules légers, poids lourds, motos, etc.).

La phase de collecte de données a été suivie par la formation du réseau de neurones sur la base des données obtenues à partir de la surveillance. ARPAT a fourni à UNICA 100 % des données de trafic et 90 % des données de bruit afin de permettre une validation à l'aveugle. En raison d'un problème technique survenu lors de la phase d'analyse préliminaire des données réalisée par ARPAT, il n'a pas été possible de former correctement le réseau avec les données de suivi « b » à la date limite du projet. Cependant, ARPAT et UNICA partagent le désir d'achever la validation à une date ultérieure, également afin de publier les résultats dans des revues scientifiques.

UNICA a ensuite formé le réseau et fourni des estimations des niveaux de bruit relatifs à la portion de surveillance pour laquelle il ne disposait que des données de trafic. Cette période correspond à celle écoulée entre le début de la 47e heure et la fin de la 52e.

Parallèlement, ARPAT a créé le modèle 3D de la zone d'étude au sein du logiciel SoundPLAN, en insérant les routes surveillées et les flux horaires de trafic associés. A partir d'une fraction des données disponibles, une calibration du modèle a été réalisée en modifiant le type de chaussée associé aux tronçons routiers. Les paramètres ainsi établis ont ensuite été utilisés pour l'ensemble du suivi.

A ce stade, il faut souligner que pour obtenir des estimations horaires des niveaux de trafic à partir des logiciels de prévision traditionnels, il était nécessaire de créer une variante du modèle et donc une simulation spécifique pour chaque heure de surveillance. Par

conséquent, le temps requis et la complexité du calcul sont beaucoup plus importants que dans les cas d'utilisation standard pour lesquels le logiciel est conçu.

Une fois les estimations fournies par les deux modèles disponibles, il a été possible de comparer les résultats des deux avec les niveaux de bruit réels. Dans la Figure 5 à titre d'exemple, les tendances relatives au point Pa3 sont représentées.

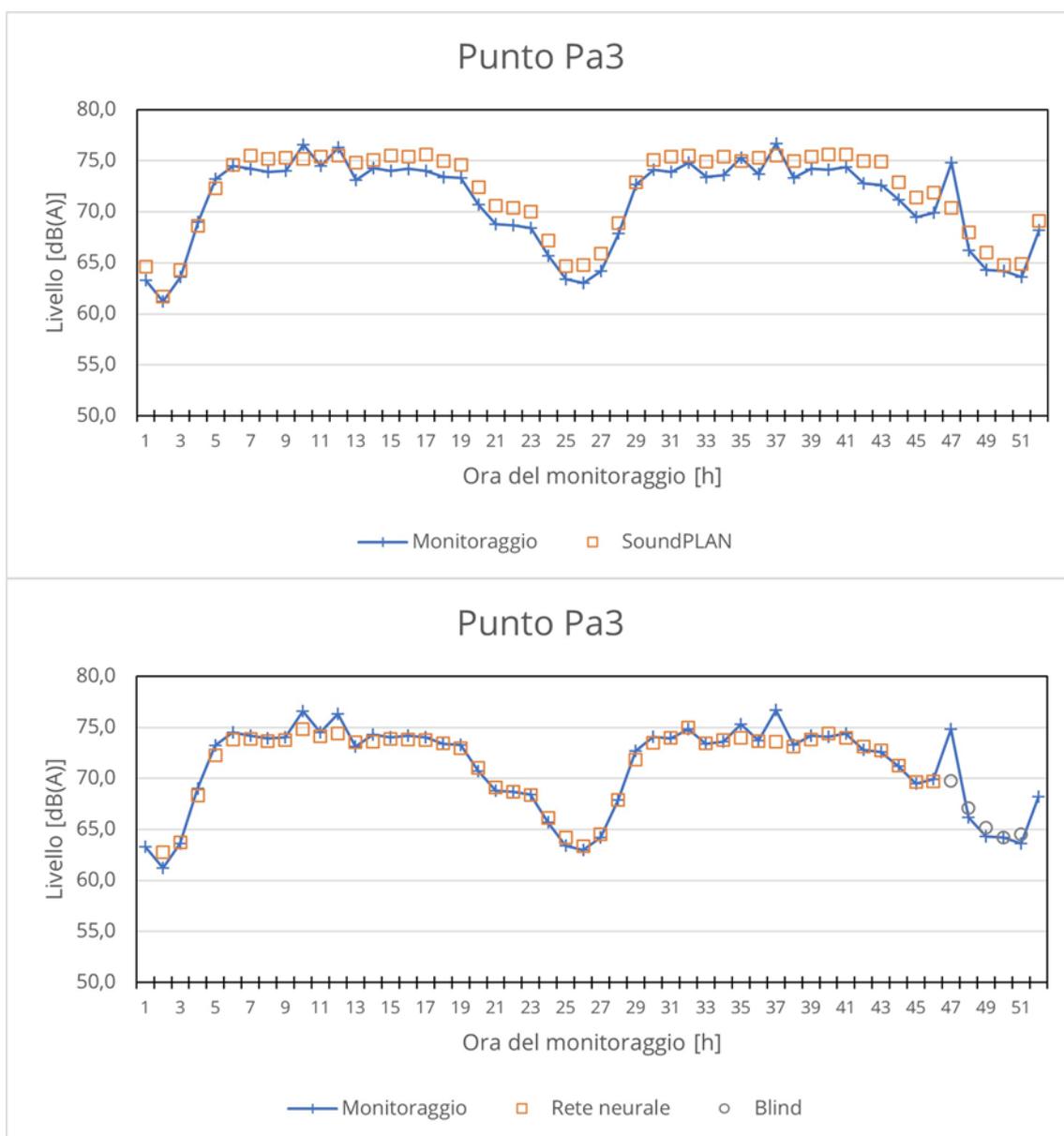


Figure 5 : Comparaison entre les résultats du suivi au point Pa3 et les prédictions du modèle. Ci-dessus : évolution dans le temps des résultats fournis par le réseau de neurones, en gris les estimations fournies sans connaître les niveaux de bruit réels. Ci-dessous : évolution temporelle des résultats fournis par le logiciel SoundPLAN.

Comme on peut le voir sur la Figure 5, généralement, le réseau de neurones est capable de suivre la tendance temporelle du niveau de bruit avec une plus grande fidélité. Les plus

grandes différences se produisent généralement à des moments avec des niveaux de bruit plus faibles. Ces périodes de surveillance correspondent à des heures de nuit pendant lesquelles, sur la base des données de trafic, il existe un trafic peu intense mais caractérisé par un pourcentage plus élevé de poids lourds. De manière totalement aléatoire, les heures de surveillance correspondant à la validation à l'aveugle correspondent exactement à l'une de ces périodes, elle doit donc être prise en compte lors de la comparaison des niveaux estimés et réels.

En revanche, les estimations réalisées selon la méthode traditionnelle, bien que produisant en moyenne de très bons résultats, sont généralement moins cohérentes avec la tendance temporelle.

Dans la Tableau 2 les résultats sont présentés pour les deux étages testés sur le logiciel SoundPLAN et pour le réseau de neurones.

Tableau 2 : Résumé des résultats de la validation.

		Pa1			Pa2			Pa3		
		Moyen dB(A)	Dev. St.	Corr.	Moyen dB(A)	Dev. St.	Corr.	Moyen dB(A)	Dev St.	Corr.
Pav. standard	Calibration	-1,5	1,7	0,94	-0,6	1,3	0,98	0,3	0,8	0,99
	Validation	0,4	1,9	0,47	-0,1	1,1	0,96	0,4	1,6	0,57
	Aveugle	-1,1	1,1	0,75	-1,3	0,8	0,94	0,2	0,3	0,98
	Total	-0,8	1,9	0,91	-0,5	1,2	0,97	0,4	1,1	0,97
Pav. Alternative	Calibration	-0,7	1,6	0,94	0,1	1,2	0,98	1	0,9	0,98
	Validation	1,5	1,8	0,48	0,5	0,9	0,96	1	1,5	0,57
	Aveugle	-0,2	1,2	0,74	-0,3	0,6	0,97	1,3	0,5	0,96
	Total	0,2	1,9	0,9	0,2	1,1	0,98	1	1,1	0,96
Réseau de neurones	Apprentissage	-0,3	0,8	0,98	0	0,5	0,99	-0,3	0,7	0,99
	Test	-0,1	0,9	0,97	0	0,5	1	-0,2	0,8	0,98
	Aveugle	1,6	1,2	0,92	1,1	1,1	0,77	0,5	2,3	0,95
	Total	0,4	1	0,97	0,1	0,7	0,99	0,3	1	0,97

Les travaux réalisés montrent que, malgré l'énorme charge de travail nécessaire, les logiciels traditionnels ne sont pas adaptés pour fournir des estimations horaires ou même à des intervalles plus courts, alors qu'ils fournissent des résultats d'une fiabilité prouvée sur des intervalles de temps beaucoup plus longs. D'autre part, le modèle traditionnel permet la création de cartes de bruit 2D en une seule session de calcul, tandis que le réseau ne fournit des estimations que sur les récepteurs identifiés et pour lesquels il a été entraîné.

Le réseau de neurones développé s'est avéré capable de fournir des estimations de niveaux de bruit avec une erreur comparable à celle d'un logiciel certifié en ce qui concerne les mesures effectuées sur le terrain, mais avec une énorme économie en termes d'effort de calcul et de travail humain si l'intérêt spécifique est de vérifier certains récepteurs. Les deux modèles sont nés avec des finalités différentes, en particulier le réseau de neurones veut répondre au besoin de gestion en temps réel du trafic urbain, afin de surveiller les niveaux de bruit aux points critiques à des intervalles courts, voire 1 minute. Le modèle de réseau de



neurones n'est donc pas né pour remplacer le modèle conventionnel, au contraire, il pourrait être utilisé pour le soutenir.

4 Livrable T3.3.1

Ce produit a pour but d'évaluer l'efficacité effective, sur l'impact acoustique, de la transition électrique des engins et tracteurs en fonctionnement opérant dans une zone d'essai, obtenant ainsi une baisse des émissions sonores et moins de perturbations perçues par les récepteurs les plus proches. La zone d'essai a été choisie dans le Terminal Darsena Toscana (ci-après dénommé TDT), situé à Darsena Toscana, Porto Industriale - 57123 Livourne, pour lequel des cartes de bruit ont été réalisées dans deux conditions différentes.

Dans l'Activité T2.3, le niveau de puissance acoustique des machines d'exploitation actuelles situées à la TNT a été étudié et les données ont été collectées dans une base de données, cataloguées selon le type d'opération que la machine d'exploitation effectue. Ces données ont été manipulées de manière à pouvoir reconstituer les cycles de traitement de chaque machine et à pouvoir intervenir sur l'émission sonore en modifiant le type de propulsion de la machine elle-même.

Bien entendu, toutes les phases du cycle ne peuvent pas bénéficier de la modification de l'émission sonore car certaines activités ne peuvent être atténuées en remplaçant la propulsion électrique seule. Parmi ceux-ci, par exemple, les bruits impulsifs dus au positionnement de conteneurs sur pilotis, sur des wagons de chemin de fer, sur des véhicules, sur des navires. La zone d'étude a été divisée en macro-zones dans lesquelles sont réparties les différentes machines d'exploitation qui y opèrent. La subdivision a été effectuée en vérifiant le positionnement des conteneurs et des machines en utilisant Google Maps, compte tenu du fait que la plupart d'entre eux ne peuvent se déplacer que dans une direction prédéterminée et qu'il ne peut donc y avoir de changement de zone. Pour les machines qui ont une liberté de mouvement, une répartition compatible avec l'utilisation moyenne faite pendant le travail a été supposée. Pour l'ensemble des sources qui composent les cycles, les heures et périodes de fonctionnement au cours de la journée de travail sont déterminées. Ceci était nécessaire afin de procéder à l'élaboration des cartes de bruit à établir afin d'apprécier ou non l'amélioration due au changement de propulsion des machines d'exploitation. Les différentes sources ont été placées sur la zone à l'aide du logiciel QGIS et ont reçu les attributs nécessaires pour reconnaître les sources sur le logiciel SOUNDPLAN. Une bibliothèque de sources a été créée sur le même logiciel, qui indique le spectre de puissance et la hauteur par rapport au sol de la source, et une bibliothèque constituée des temps de fonctionnement des différentes sources présentes dans la macro-zone de référence. De plus, les sources ont été affectées à deux groupes « électrifiés » et « non électrifiés » afin de pouvoir agir directement sur les sources qui pourront être électrifiées à l'avenir.

Les conteneurs ont été modélisés car la présence affecte la propagation de l'onde sonore, créant des phénomènes de réflexion et de diffraction de l'onde elle-même. Une fois le modèle créé, les cartes de bruit ont été créées en supposant différents scénarios. Les scénarios évalués montrent les conditions actuelles d'émission sonore des sources, l'émission due uniquement aux sources non électrifiées, l'émission due aux sources électrifiées uniquement et l'émission due aux unités de réfrigération uniquement.

Tableau 3 : Paramètres de calcul du modèle.



PARAMETRES DE CALCUL	
Ordre de la réflexion	1
Rayon max de recherche [m]	2000
Distance max des réflexions du récepteur [m]	500
Distance max des réflexions de la source [m]	100
Espacement de la grille [m]	10
dB pondéré	dB(A)
Standard bruit industriel	ISO 9613-2:1996
Standard bruit routier	NMPB 2008

Là où:

- « ordre de réflexion » désigne le nombre de réflexions au-delà duquel les contributions sont considérées comme négligeables ;
- « rayon de recherche max » désigne la distance maximale du point de grille (ou du récepteur) au-delà de laquelle les sources sont considérées comme négligeables aux fins du calcul du niveau global ;
- par « distance max des réflexions au récepteur », on entend la distance maximale au point de grille (ou récepteur) au-delà de laquelle les surfaces réfléchissantes génèrent des contributions considérées comme négligeables aux fins du calcul du niveau global ;
- "distance maximale des réflexions de la source", la distance maximale de la source au-delà de laquelle les surfaces réfléchissantes génèrent des contributions considérées comme négligeables aux fins du calcul du niveau global au point de grille (ou récepteur) ;
- « espacement de la grille » désigne le pas des points de la grille dont le niveau sonore global est calculé ;
- « dB pondéré » désigne la pondération appliquée au calcul du niveau sonore ;
- « norme de bruit industriel » désigne la source et le modèle de propagation adoptés pour modéliser le champ acoustique généré par les sources de type industriel ;
- « Norme de bruit routier » désigne la source et le modèle de propagation adoptés pour modéliser le champ acoustique généré par les sources de type routier.

Pour vérifier si la transition électrique conduit à une amélioration en termes d'émissions sonores, la différence arithmétique a été faite entre l'émission produite par toutes les sources actuellement présentes dans la zone et celle due aux seules sources non électrifiées (Figure 6).

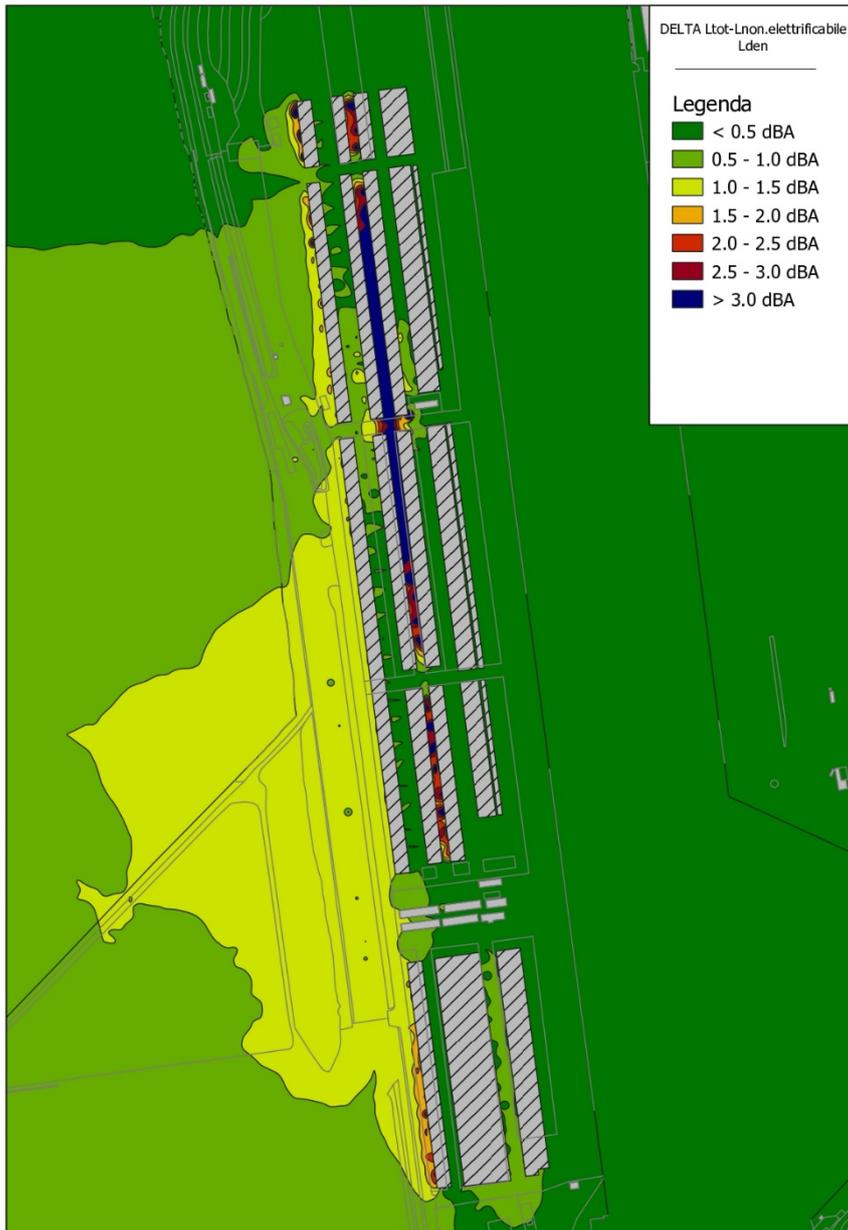


Figure 6 : Différence entre les niveaux de bruit en LDEN entre les sources électrifiées et toutes les sources actuelles.

De cette différence, il est ressorti que la réduction du bruit est faible par rapport au bruit présent dans la zone et que l'amélioration reste limitée à la zone d'étude seulement, n'étant donc pas utile pour réduire le bruit pour les citoyens voisins. Cela ne veut pas dire que la transition est inutile, mais acoustiquement il n'y a pas d'amélioration nette. Néanmoins, la transition pourrait conduire à une amélioration des conditions de travail tant au niveau acoustique qu'au niveau des vibrations induites par le moteur thermique sur les machines en fonctionnement.

5 Attività T3.4

5.1 Prodotto T3.4.1

Le projet REPORT est appelé à apporter les résultats des autres projets du programme Maritime à un facteur commun, donc, dans le but de fournir un exemple d'adaptation possible de l'END à la zone portuaire, le produit T3.4.1 décrit la cartographie l'activité du bruit portuaire dans la zone portuaire de Livourne et les résultats qui en résultent en termes de cartes de bruit et de cartes d'exposition de la population.

L'activité de cartographie a été réalisée suivant les lignes directrices élaborées par les partenaires scientifiques du projet MON ACUMEN, regroupées dans les documents de projet suivants :

- Le produit T2.1.1 définit les méthodes de caractérisation des sources ;
- Le produit T2.2.1 établit les données à acquérir ;
- Le produit T2.3.3 établit comment regrouper les sources au sein du modèle ;
- Le produit T2.3.4 établit comment les résultats sont représentés.

L'étude part de l'identification de la zone de calcul, c'est-à-dire la zone d'influence du bruit portuaire. La zone, illustrée à la figure 7, est identifiée grâce à un calcul préliminaire. Cependant, pour effectuer ce calcul, il est nécessaire d'identifier et d'insérer dans le modèle toutes les principales sources de bruit présentes dans le port.



Figure 7 : Identification de la zone de calcul.

L'inclusion des sources est un aspect clé du travail. Il faut garder à l'esprit que différents sujets opèrent au sein du port, avec des responsabilités différentes ; ainsi, pour identifier la personne responsable de tout dépassement, il ne suffit pas de faire une estimation des niveaux de bruit générés par le port. Il faut distinguer les apports des différents sujets. Pour cette raison, les sources de bruit sont regroupées en groupes correspondant aux classes de sources de bruit suivantes :

- sources routières ;
- sources ferroviaires ;
- sources portuaires ;
- ressorts navals ;
- sources industrielles.

Ainsi, il sera possible d'établir si, par exemple, un niveau de bruit à un récepteur hypothétique est la responsabilité de l'activité de chargement et de déchargement effectuée sur un quai voisin plutôt que du trafic urbain, ou d'un navire au mouillage. Au sein du modèle, une distinction est également faite entre le trafic routier (ou ferroviaire) à l'intérieur du port, le trafic à l'extérieur du port mais lié à l'activité portuaire et le trafic à l'extérieur mais indépendant du port.

La norme européenne END exige une estimation des niveaux sonores annuels moyens prenant en compte trois périodes distinctes de la journée : jour, soir et nuit. Les trois niveaux sont ensuite combinés pour obtenir l'indicateur L_{DEN} . Le niveau L_{DEN} n'est pas une simple moyenne des trois niveaux mais pénalise les niveaux soir et nuit afin de prendre en compte le dérangement plus important causé par le bruit émis pendant ces périodes de la journée. De plus, la législation prend en considération le niveau de nuit (L_{Night}) car il est attribuable aux troubles du sommeil.

Le résultat de la cartographie produit des cartes de bruit pour les différentes sources et pour l'ensemble des sources selon les deux indicateurs L_{DEN} et L_{Night} . La figure 8 montre un exemple de carte de bruit, en particulier de bruit naval par rapport à l'indicateur L_{DEN} .

En utilisant les résultats des cartes des sources individuelles, il a été possible de créer un nouveau type de carte, la carte des sources prédominantes. Pour y parvenir, le niveau de chaque source est examiné en chaque point de la grille de calcul et, s'il existe une source dont le niveau, par analogie avec ce qui est indiqué dans la norme UNI 10855 : 1999, est supérieur à la somme de celui de tous les d'autres, au point est associé à un symbole spécifique :

- triangle pour la source navale ;
- carré pour la source du port ;
- croix pour la source industrielle;
- cercle pour la source de rue;
- losange pour la source ferroviaire.

L'intérieur du symbole est ensuite coloré sur la base du niveau sonore total présent selon l'échelle de couleurs définie par la législation européenne. S'il n'y a pas de source dont le niveau est supérieur à la somme de toutes les autres, un cercle blanc est associé au point.

Ces cartes ont pour but de mettre en évidence des zones dans lesquelles l'un des groupes de sources prévaut sur les autres.

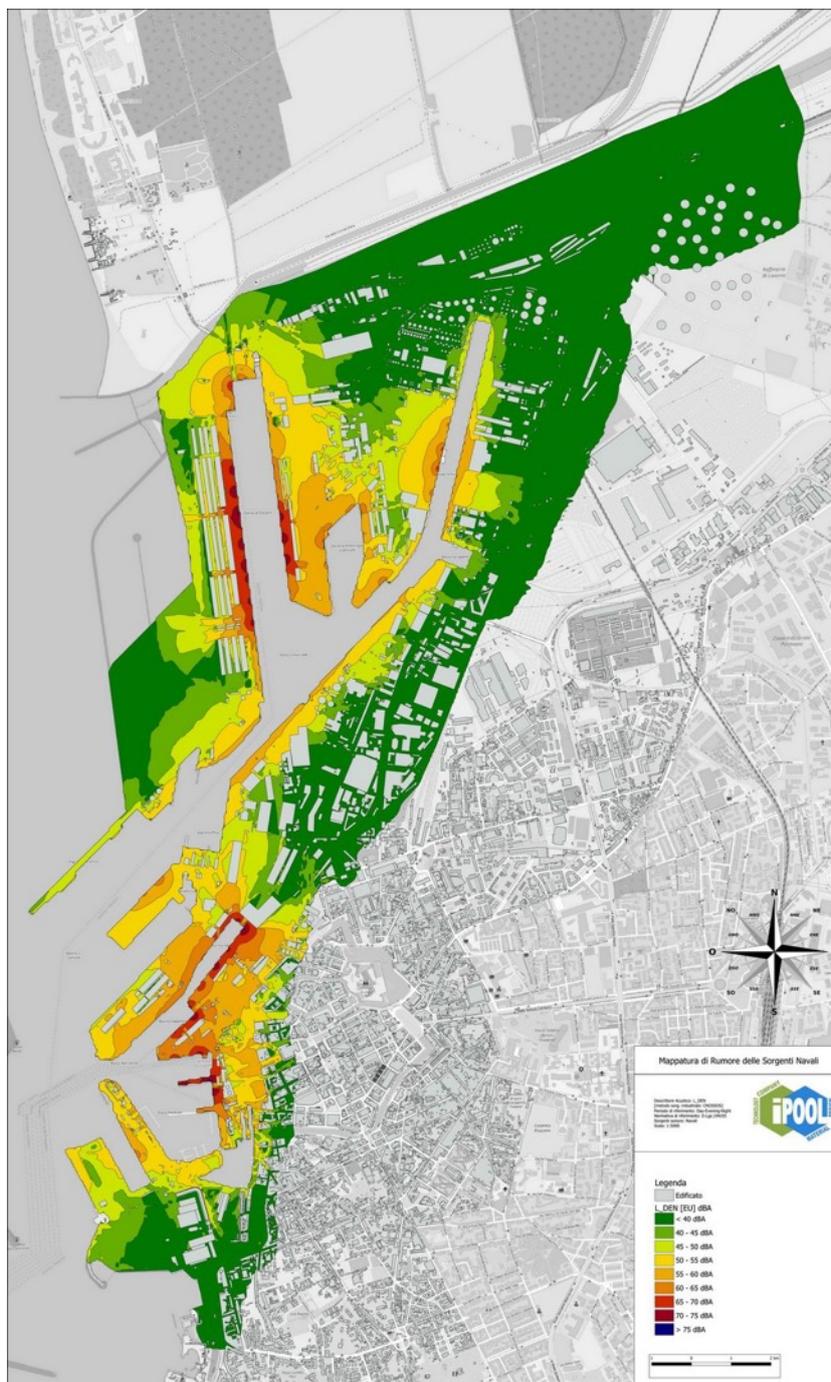


Figure 8 : Carte des sources navales au regard de l'indicateur L_{DEN} et de la méthode de calcul CNOSSOS.

Pour réaliser ces cartographies et donc distinguer les différentes contributions au bruit environnemental dans la zone portuaire, il est donc indispensable de réaliser des cartographies spécifiques aux différentes sources présentes, telles que réalisées. La figure 9

montre à titre d'exemple une carte des sources prédominantes du port de Livourne selon l'indicateur L_{DEN} .



Figure 9 : Carte des sources prédominantes selon l'indicateur L_{DEN} et la méthode de calcul CNOSSOS

5.2 Livrable T3.4.2

Le produit T3.4.2 décrit deux outils de cartographie importants dans la zone portuaire développés au sein du cluster bruit. En particulier, le modèle de calcul développé par le partenaire CSTB et la carte des sources prédominantes conçue par le partenaire ARPAT dans le cadre du projet MON ACUMEN.

6.2.1 Outil Navires et calcul de L_{DEN} et L_{Night} dans la zone portuaire

Au sein du Produit T3.4.2, l'outil développé par le partenaire du CSTB, dont la validation a été décrite au paragraphe 2, est illustré au regard de son utilisation pour les besoins de l'END, c'est-à-dire pour l'estimation du niveau d'exposition annuel de la population.

Le logiciel développé par le CSTB propose plusieurs outils spécifiques de cartographie de la zone portuaire. En particulier, l'outil « bateaux » (Figure 10) permet de générer un modèle 3D du bateau auquel sont associées des sources sonores appropriées. Grâce à l'interface utilisateur (Figure 11), il est possible de définir différents modes de fonctionnement pour chaque bateau, chacun configurable avec différentes sources et puissances sonores.

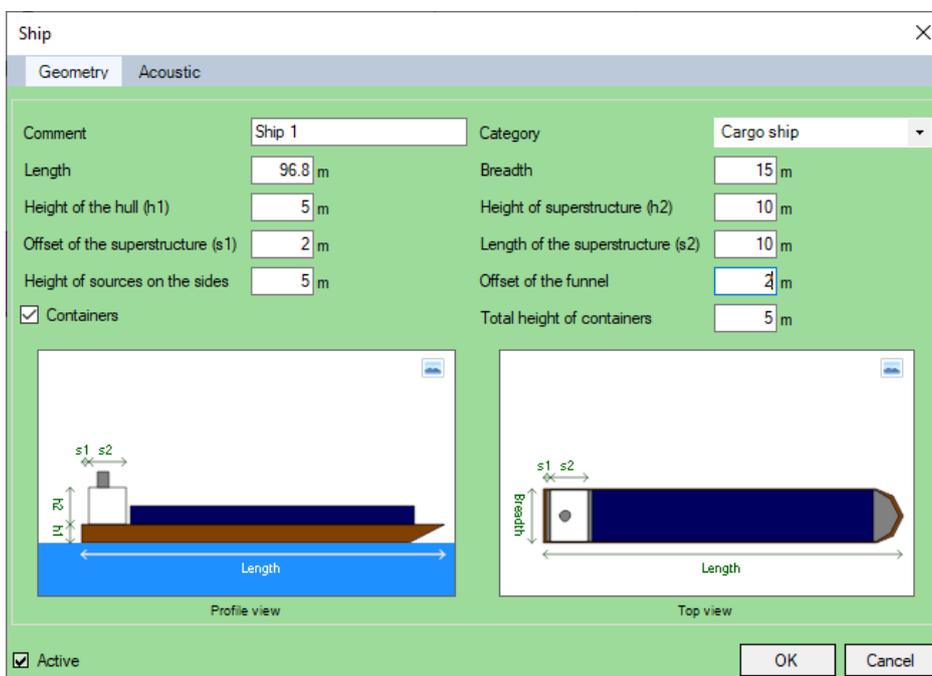


Figure 10 : Spécifications géométriques d'un porte-conteneurs.

Pour tenir compte du caractère saisonnier des activités portuaires, un nouveau type de découpage temporel périodique a été introduit. Il est ainsi possible de définir à la fois des périodes saisonnières et des périodes relatives à un intervalle de temps particulier autres que celles indiquées par la législation, par exemple :

- Période « Été », période « Hiver » ;
- Période « pointe », période « heures creuses » ;
- Période de « chargement », période d'« accostage », période de « déchargement » ;
- Etc.

Ces fonctionnalités sont utiles pour calculer les niveaux d'exposition dans des configurations spécifiques et dans des scénarios de complexité limitée. Cependant, le port lui-même est un système complexe et dans le cas d'une évaluation annuelle de l'exposition, plusieurs particularités doivent être prises en compte. L'un des plus importants découle de la constatation évidente que le navire, car il se caractérise par de grandes dimensions (souvent similaires à celles d'un grand bâtiment), en plus d'émettre du bruit, agit comme une barrière. Par conséquent, sa présence à quai peut avoir à la fois un effet d'insonorisation positif au-

delà de celui-ci, et un effet de renforcement sur les sources présentes entre le navire et le récepteur, comme une route, ou une zone de cargaison. La présence d'un navire à quai n'est pas continue, mais discontinue tout au long de la journée et pas nécessairement périodiquement au cours de l'année donc en général l'interaction avec d'autres sources n'est pas évidente. S'il est négligé ou mal traité, l'effet de ce phénomène sur le nombre total de navires présents dans le port pourrait conduire à une sous-estimation ou une sous-estimation de l'exposition des récepteurs.

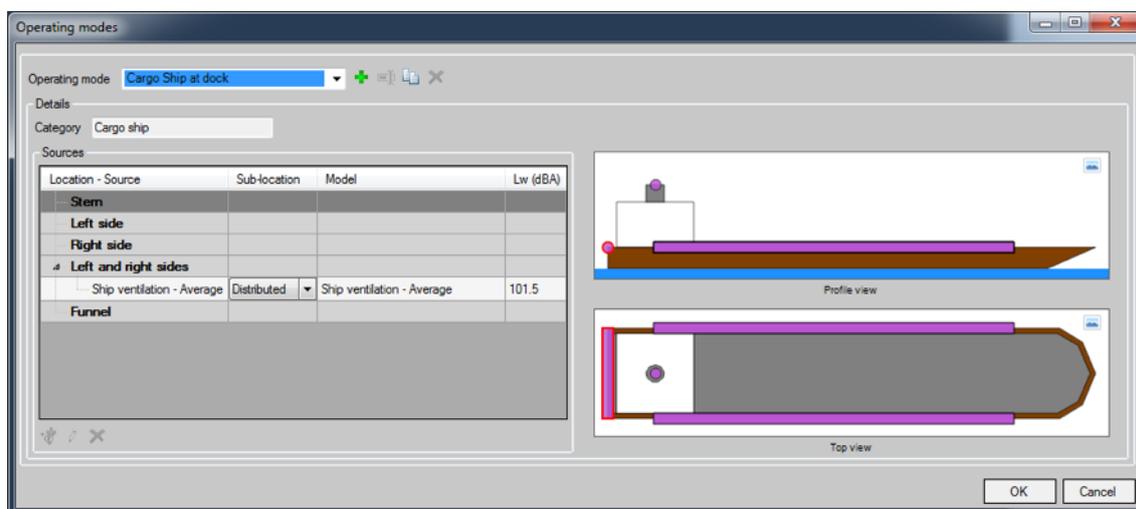


Figure 11 : Spécifications acoustiques d'un porte-conteneurs.

Face à ce problème, une fonction a été implémentée pour calculer un indice LDEN prenant en compte cet effet. Le principe général repose sur l'utilisation de variantes. Chaque variante est associée à une configuration de port pour laquelle un niveau d'exposition L_{Aeq} est calculé. Pour chaque configuration, quels navires sont présents dans le port et dans quels quais sont indiqués, afin de reproduire toutes les configurations rencontrées au cours de l'année. Le niveau L_{DEN} est alors obtenu en combinant les calculs des différentes variantes. En particulier, le logiciel calcule la somme pondérée des L_{Aeq} s individuels par rapport aux heures de la journée pour lesquelles les variantes se produisent.

5.2.1 Carte des sources prédominantes

Au cours du projet MON ACUMEN, un nouveau type de carte de bruit a été développé, appelé la carte des sources prédominantes.

Cela se fait sur la base des cartes des différentes sources présentes dans la zone portuaire. A chaque point de la grille de calcul le niveau de chaque source est calculé et, s'il existe une source dont le niveau est supérieur à la somme de toutes les autres, un symbole spécifique est associé au point :

- triangle pour la source navale ;
- carré pour la source du port ;
- croix pour la source industrielle;
- cercle pour la source de rue;
- losange pour la source ferroviaire.

L'intérieur du symbole est ensuite coloré sur la base du niveau sonore total présent selon l'échelle de couleurs définie par la législation européenne. S'il n'y a pas de source dont le niveau est supérieur à la somme de toutes les autres, un cercle blanc est associé au point.

La figure 12 montre une carte des sources portuaires réalisée pour le port de Cagliari. Comme vous pouvez le voir, la carte met en évidence les zones dans lesquelles l'un des groupes de sources prévaut sur les autres. Par exemple, dans la région des jetées, la source navale et la source bâbord prévalent. L'objectif initial de la carte était de faciliter l'identification des emplacements les plus appropriés pour accueillir les unités de contrôle d'un système de surveillance acoustique portuaire capable de surveiller des sources individuelles.



Figure 12 : Cagliari, Carte des sources prédominantes relatives à l'indicateur L_{night}.

La carte des sources prédominantes est utile pour identifier les responsabilités en cas de dépassement et constituerait un outil utile non seulement pour la zone portuaire, mais aussi pour d'autres situations, notamment urbaines. Celles-ci, comme le port, se caractérisent par la coexistence de nombreuses sources de bruit, telles que les routes, les voies ferrées, les zones industrielles. Grâce à cette représentation graphique, il est possible de visualiser toutes les sources impliquées dans une même figure, simplifiant le travail d'analyse des techniciens et facilitant la compréhension du citoyen.

6 Conclusioni

La componente T3 a permis de valider avec succès les modèles développés lors de la composante T3 par les partenaires CSTB, UNICA et UNIPI. Les modèles validés constituent une avancée importante dans l'étude du bruit portuaire et constituent de nouveaux outils de gestion des mains des entités gérant les ports de la zone de coopération.

Les résultats obtenus, compte tenu de la généralisation de la démarche suivie lors du développement et de la validation, peuvent être étendus à d'autres ports, même en dehors de la zone de coopération.

L'étude ultérieure de la mise en œuvre des outils au sein des Equipes a évalué l'utilité des outils et méthodologies développés dans REPORT et dans d'autres projets du cluster bruit dans le but d'évaluer l'exposition de la population au bruit.