

Output T3.1 - Évaluation de la réduction des nuisances sonores des infrastructures

Activité :	-
composant :	T3- Suivi et évaluation de l'efficacité des ouvrages portuaires de mitigation acoustique
Partner responsable :	Université de Gênes
Date :	12/2021

1 Introduction

Plusieurs campagnes de mesure ont été réalisées dans les ports partenaires du projet avec le but d'évaluer l'efficacité et la qualité des interventions de mitigation acoustique mis en acte à l'intérieur du projet. Ces contrôles, effectués avant et après la réalisation des travaux d'atténuation, ont été préparés par les partenaires UNIGE et UNIPI à travers une méthodologie d'acquisition des données et des indications spécifiques sur l'instrumentation du point de vue de la qualité (classe, exigences), les caractéristiques techniques de la campagne de surveillance (positionnement des instruments, durée des mesures) ainsi que les paramètres acoustiques à relever.

Les valeurs relevées avant et après l'intervention sont comparées en détail dans l'activité T3.4, et ont permis d'obtenir l'évaluation de l'efficacité des infrastructures d'atténuation réalisées qui sera résumée dans le présent document.

Les travaux d'atténuation décrits sont ceux réalisés dans le cadre de la composante T2, en plus de la dune artificielle réalisée au port de Gênes Pra' financée entièrement avec des fonds propres de l'ASPMLO.

Les mesures ont été réalisées des partenaires gestionnaires des ports à travers des instrumentations phonométriques et des centrales de surveillances soit fixes que mobiles, en partie acquises dans le domaine du projet RUMBLE ou d'autres projets du cluster.

Pendant la période au cours de laquelle les activités ont eu lieu, des groupes de discussion ont également été organisés au sein desquels des mesures ont été partagées et les données obtenues par les campagnes (tout en restant la propriété des partenaires) ont été mis à la disposition de toutes les institutions publiques non-partenaires compétentes en la matière, en garantissant l'exploitation des résultats dans le temps.

Ce document fournira des connaissances sur l'efficacité des travaux d'atténuation dans les ports considérés à travers une analyse comparative de données de surveillance, ainsi que à travers des modèles numériques de simulation.

En particulier, pour les ports où l'intervention a consisté à poser de l'asphalte réducteur de bruit, l'évaluation a été effectuée par la méthode Close Proximity (CPX), décrit dans la norme technique UNI EN ISO 11819-2 et dans ISO/TS 11819-3, qui a pour but d'évaluer les émissions sonores dues à l'interaction du pneumatique avec la chaussée, dans des conditions où celle-ci est dominante par rapport aux autres sources de bruit.

Utilisation de deux microphones placés à proximité du pneumatique arrière droit (pneumatique de référence P1, SRTT de dimensions 225/60 R16), le signal de pression acoustique est acquis en conduisant le véhicule à divers vitesses constantes sur le revêtement étudié. La position particulière des microphones est une condition suffisante pour considérer le bruit d'interaction pneumatique/chaussée comme dominant, de sorte que les contributions du bruit du moteur, du système mécanique et du tuyau d'échappement soient négligeables. Un encodeur appliqué à la roue arrière gauche permet d'acquérir l'espace parcouru et donc la vitesse instantanée. Lors du traitement des données, le signal de l'espace parcouru est analysé de manière à subdiviser les signaux acquis selon une base spatiale (section) 20 m. Les signaux de pression acoustique sont ensuite traités de manière à associer à chaque section le spectre en bandes de tiers d'octave dans la gamme 315 - 5000 H. Au moyen de la somme énergétique des niveaux pesés A, on obtient le niveau LCPX à partir du spectre en bandes de tiers d'octave. Le protocole demandé par l'UNI EN ISO 11819-2 est adopté par le Rapport "Revision of Green Public Procurement Criteria for Road Design, Construction and Maintenance" (ci-après dénommé GPP), publié par la Commission européenne, afin d'indiquer aux États membres les critères de l'Union européenne applicables aux marchés publics écologiques en matière de conception, de construction et d'entretien des routes. Les résultats de mesure peuvent donc être comparés aux limites supérieures que le GPP fixe pour la vérification de la conformité de la production et de la durée des performances acoustiques des sols à faible bruit.

En ce qui concerne la ville de Gênes, des campagnes de mesure en continu ont été effectuées avant et après la construction de la "duna" au port de Pra'; par rapport aux mesures ante-operam, effectuées en mode standard, une acquisition audio non comprimée a également été réalisée en post-operam, ce qui a permis d'effectuer des analyses beaucoup plus approfondies et précises par rapport à celles réalisées avec des méthodologies antérieures, en indiquant de cette façon la voie à suivre dans le futur pour une correcte caractérisation et détermination des sources de bruit en domaine portuaire..

2 Port de Portoferraio



Figura 1: Zone d'étude pour l'évaluation de l'effet du revêtement acoustique absorbant

Les travaux d'atténuation ont consisté à poser un revêtement à faible taux d'émission le long de la route devant le port. L'asphalte insonorisant s'est avéré efficace étant donné que les mesures effectuées en août 2020 selon la méthode CPX et dans les deux sens de la route (direction nord et direction sud), ont montré une réduction du bruit de plus de 3 dB (A) par rapport aux mesures antérieures effectuées en juillet 2019.

Portoferraio (Livorno) – Risultati CPX a 50 km/h

PAVIMENTAZIONE	L_{CPX} per corsia		$\sigma(L_{CPX})$	L_{CPX}	Limite GPP	$L_{CPX,max}$	Limite GPP
Ante Operam	Dir. Nord	92.5 ± 0.9	0.5	92.0 ± 0.6	94.0	93.6 ± 0.4	95.0
	Dir. Sud	91.4 ± 0.9	0.3				
PAVIMENTAZIONE	L_{CPX} per corsia		$\sigma(L_{CPX})$	L_{CPX}	Limite GPP	$L_{CPX,max}$	Limite GPP
Post Operam Low Noise	Dir. nord	88.8 ± 0.9	0.6	88.6 ± 0.5	91.0	89.8 ± 0.4	92.0
	Dir. Sud Marcia	88.5 ± 0.9	0.6				
	Dir. Sud Sorpasso	88.6 ± 0.9	0.5				

Riduzione del livello L_{CPX} di oltre **3 dB(A)**

3 Port de Cagliari

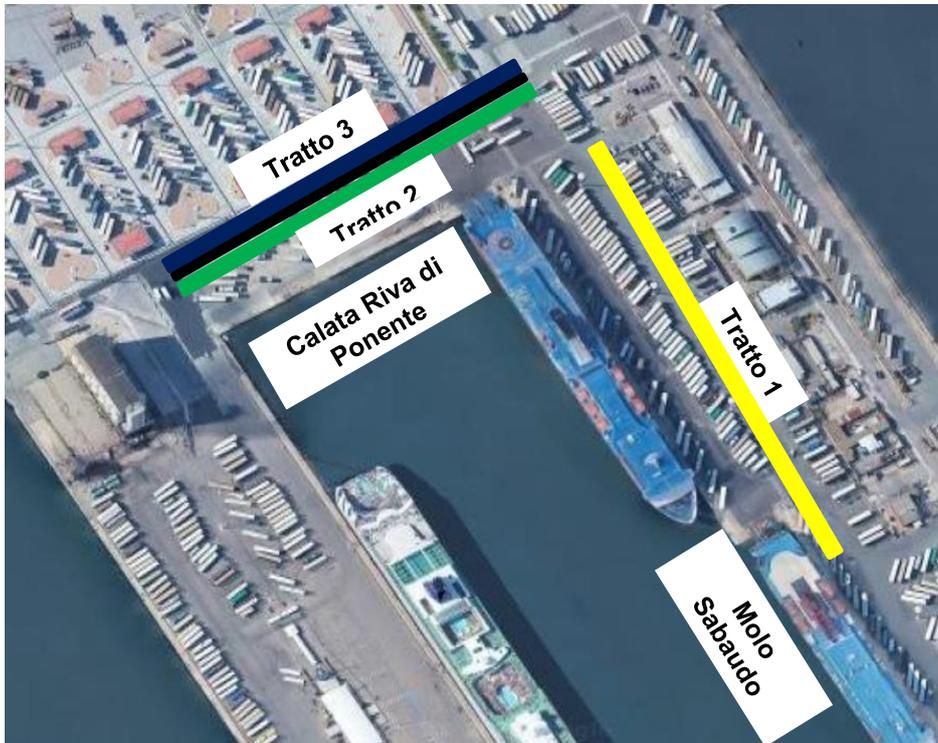


Figure 2: Zone d'étude pour l'évaluation de l'effet du revêtement acoustique absorbant

Même à Cagliari, dans la zone de pertinence portuaire, a été réalisée un revêtement de sol silencieux qui a permis obtenir une réduction des niveaux sonores en phase de mesurage Post Operam avec les deux méthodes utilisées : CPX et CPB. Dans le premier cas, le niveau moyen LCPX est inférieure de plus de 3 dB(A) à celle du revêtement du même tronçon avant l'action d'atténuation. Dans le cas des niveaux LCPB, ils sont inférieurs d'environ 1 dB(A) par rapport au revêtement en conglomerat bitumineux AO CB et de près de 6 dB par rapport au revêtement en conglomerat cimentier AO CC.

Pavé	LCPX per corsia		$\sigma(LCPX)$	LCP X	Limite GPP	LCPX, max	Limite GPP
Low Noise	Dir. nord	88.8 ± 0.9	0.6	88.6 ± 0.5	91.0	89.8 ± 0.4	92.0
	Dir. Sud Marcia	88.5 ± 0.9	0.6				
	Dir. Sud Sorpasso	88.6 ± 0.9	0.5				
Pavé	LCPX per corsia		$\sigma(LCPX)$	LCP X	Limite GPP	LCPX, max	Limite GPP
AO	Dir. nord	92.5 ± 0.9	0.5	92.0 ± 0.6	94.0	93.6 ± 0.4	95.0
	Dir. sud	91.4 ± 0.9	0.3				

4 Porto de l'île Rousse



Figure 3: Zone d'étude pour l'évaluation de l'effet du revêtement acoustique absorbant

L'intervention de mitigation sonore dans le port d'île Rousse a de nouveau inclus la pose de tronçons de pavage avec asphalte acoustique absorbant (Low Noise) et l'installation de stations de recharge électriques. Les résultats obtenus avec les méthodes CPX et CPB sont les suivants : par rapport au revêtement Ante Operam, comme le montre le tableau ci-dessous, le niveau moyen LCPX est inférieur de plus de 4 dB(A), tandis que celui LCPB présente une réduction de 2dB(A) avec le revêtement "Low Noise" par rapport à la précédente Ante Operam.

Pavé	L _{CPX} per corsia		$\sigma(L_{CPX})$	L _{CPX}	Limite GPP	L _{CPX,max}	Limite GPP
	Dir.	Value					
Tronçon 1 Low Noise	Dir. Nord	90.4 ± 0.9	0.3	90.5 ± 0.6	94.0	91.3 ± 0.6	95.0
	Dir. Sud	90.6 ± 0.8	0.3				
Tronçon 2 Ante Operam (AO)	Dir. Nord	94.8 ± 0.9	0.5	95.0 ± 0.6	94.0	95.9 ± 0.9	95.0
	Dir. Sud	95.2 ± 0.9	0.3				
Tronçon 3 Low Noise	Dir. Ovest	n.d.	n.d.	n.d.	94.0	n.d.	95.0

5 Port Gênes – Pra'



Figura 4: Zone d'étude avec postes de surveillance mis en évidence

Dans le port de Gênes Prà il a été construite une barrière acoustique semi-artificielle, dénommé "dune", de 500 m le long de la côté Ouest et de 250 m le long de la côté Est du port. Une campagne de mesures de suivi ante-operam a été effectuée, à l'aide de trois unités de phonométrie achetées par le partenaire ASPMLO qui ont été dotées, pour la phase post-operam, de cartes mémoire de 128 GB (par rapport à celles de 2 GB de la phase ex ante) de manière à de pouvoir enregistrer en continu les fichiers audios au format .wav non compressé à analyser pour obtenir une évaluation finale aussi complète que possible. On a obtenu des enregistrements audios en format post processing, de la durée d'une semaine entière, qui ont permis une identification beaucoup plus précise des sources qui faisaient partie du climat sonore, en donnant la possibilité d'écarter des événements (comme cri des mouettes, aboiement de chiens, véhicules en transit, gazouillis d'oiseaux) non liés aux activités portuaires.

Les résultats ont été obtenus en comparant entre eux les données du poste plus proche au port (les autres deux postes ont subi un déplacement) en se référant aux mêmes configurations, soit avec le même nombre de navires à quai, soit avec les mêmes points de stationnement entre les phases ante et post operam. Dans la configuration avec un seul bateau s'est observé une réduction du bruit environ de 3 dBA, dans celle avec deux bateaux la réduction a résulté de peu supérieur à 2 dBA et enfin avec trois bateaux il est à nouveau d'au-delà de 3 dBA avec de l'insuffisante variation du niveau de fond

Config.	Unità	Leq	L1	L10	L90	L95	L99
Une navire	dB(A)	3,1	2,2	3,7	3,4	3,5	4,0
Deux navires	dB(A)	2,2	5,8	2,4	0,7	0,5	0,4
Trois navires	dB(A)	3,6	5,9	2,8	0,2	0,2	0,3

Grâce aux résultats obtenus dans le projet REPORT, il a également été possible d'exploiter le nouveau module portuaire du logiciel MITHRA-SIG, qui inclut, entre autres, un algorithme de génération de sources navales, soit du point de vue géométrique qu'acoustique. L'inclusion des autres sources de bruit portuaire a été possible grâce à la base de données du projet IMAGINE (Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment), financé par le sixième programme-cadre de l'Union européenne, qui contient plus de 1200 sources de bruit.

La zone géographique considérée pour les simulations était celle constituée par la limite administrative du port et par les infrastructures routières et ferroviaires environnantes.

La zone d'impact comprend, outre la zone d'émission, les premiers blocs de bâtiments donnant sur le port

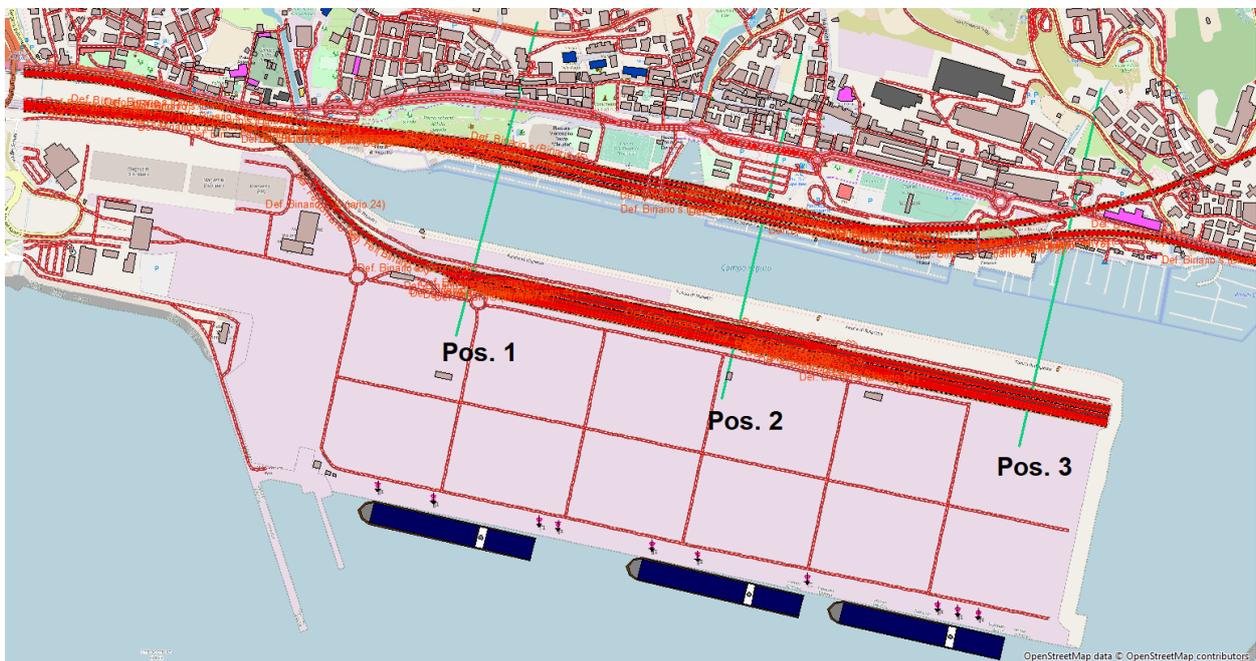
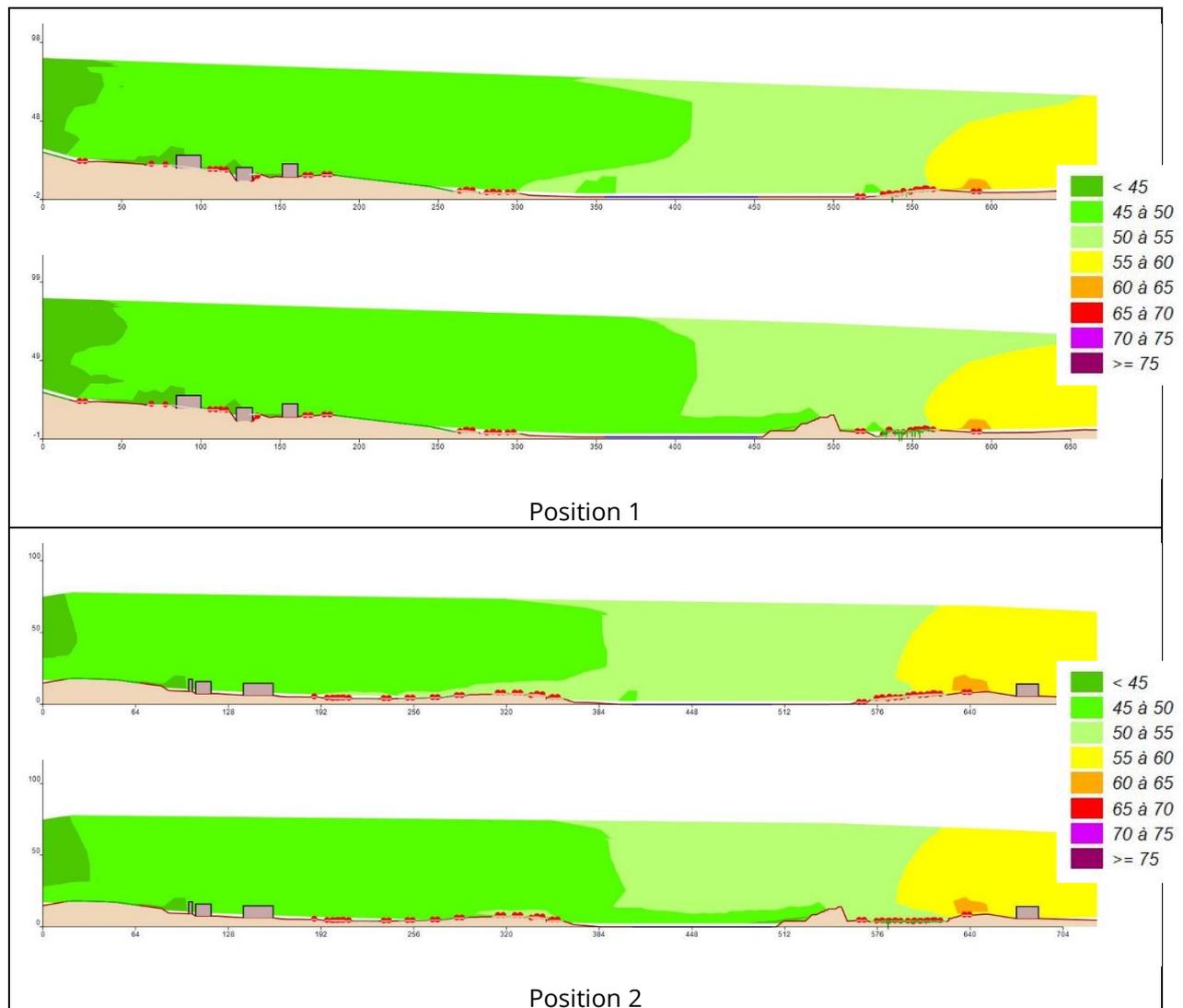


Figure 5: Zone d'étude pour l'étude d'impact du port de Gênes Prà: les lignes vertes indiquent les trois sections présentées à la suite

Pour les simulations, il a été supposée la contemporaine présence de trois bateaux à l'amarrage, ainsi que des sources « standards » telles que véhicules légers et lourds, trains, grues, etc.

Les simulations ont été réalisées sur trois sections différentes (appelées Positions 1, 2 et 3, voir Figure 5) selon la nouvelle méthode de propagation acoustique adoptée par l'Union Européenne CNOSSOS-2012.

Comme prévu, on peut observer à partir des cartographies verticales obtenues à partir des simulations (montrées sur la figure 6) que l'effet de la dune est similaire à celui d'une barrière acoustique interposée entre la source et le récepteur, avec une réduction du bruit près de la côte qui atteint environ 5 dB (A). Cependant, il faut souligner que, compte tenu de la hauteur des sources portuaires en jeu, pour une bonne part supérieure à celle de la dune, il en résulte un effet de blindage réduit et appréciable seulement pour des récepteurs relativement proches de la dune; pour des récepteurs plus éloignés, voire situés en colline, l'effet de réduction du bruit apparaît négligeable.



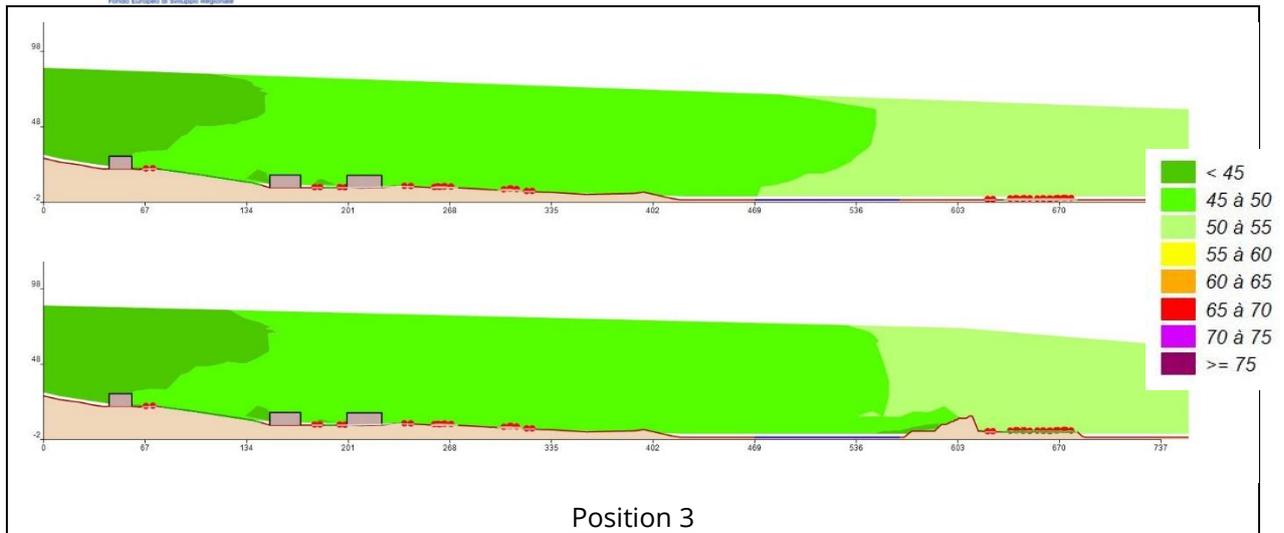


Figure 6: Cartes de bruit verticales pour l'évaluation de l'effet de la dune artificielle dans le port de Gênes Pra' : pour chaque position est représentée en haut la situation ante-operam et en bas celle post-operam.

6 Conclusions

Dans le cadre du projet RUMBLE, on a analysé l'efficacité des différentes interventions pour l'atténuation du bruit portuaire, capables de réduire l'impact acoustique des ports de la zone choisie sur le territoire urbain circonstant et sur la population y résidant.

Les différentes actions d'atténuation prévue au début du projet ont été portées à terme, en modifiant et finalisant les actions programmées, lorsqu'il est nécessaire, aux conditions mutées et opératives des ports. Pour les ports de Portoferraio (Autorité Portuaire du Système du nord de la mer Tyrrhénienne), Cagliari (Autorité de la mer de Sardegna), et Ille Rousse (Office des transports de la Corse), les travaux consistaient à l'élaboration de l'asphalte insonorisant sur les places d'embarquement et de débarquement des ports. En ce qui concerne le port de Genova, on a évalué l'effet d'une dune de grandes dimensions, réalisée auprès du terminal de conteneurs de Genova Prà et finalisée à la réduction l'impact acoustique et du paysage sur l'aire urbaine circonstant. MNCA a enfin dirigé le contrôle du climat acoustique dans la zone métropolitaine de Nice afin de déterminer les solutions infrastructurelles plus efficaces à adopter pour l'atténuation de l'impact acoustique des ports.

On a donc analysé les résultats obtenus par les les différentes interventions concernant la réduction des niveaux sonores à travers l'exécution des campagnes de mesure : une première série de campagne phonométriques a évalué la situation avant l'exécution des opérations d'atténuation(ante operam) ; une seconde série a défini la situation après l'exécution des travaux d'atténuation (post operam). La comparaison entre les niveaux ante operam et Post operam a enfin permis d'analyser l'efficacité des différentes interventions.

La mesure des paramètres sonores a été réalisée par des partenaires qui s'occupent de la gestion des ports, en collaboration avec UNIPI, UNIGE et ARPAL, à travers des équipements acoustiques fixes ou mobiles, en partie à la disponibilité des établissements, en partie acquises dans l'optique du projet par les partenaires MNCA et APSMLO. Particulièrement, les établissements de recherche ont veillé à la détermination du positionnement de l'équipement d'acquisition, à la définition des modalités techniques de mesure et des paramètres acoustiques à relever, ils ont également indiqué les campagnes de contrôle afin d'évaluer le climat acoustique précédant et suivant à la réalisation des travaux d'atténuation.

En général, les comparaisons effectuées entre les mesures de bruit conduites au stade Ante Operam et Post Operam pour les ports objet de l'intervention d'atténuation mettent en évidence l'obtention des bénéfices acoustiques significatifs :

- L'élaboration d'un revêtement d'asphalte insonorisant sur la superficie des places proches du port ou le long des routes qui lient le port et la zone urbaine conduit à une sensible réduction du bruit associé au transit des véhicules routiers provenant ou allant aux ports.
- Ce résultat paraît très significatif pour ces réalités portuaires dans lesquelles le bruit est associé au trafic généré par le port. Dans cette catégorie rentrent les ports dans lesquels prévalent le trafic passager ou le transport des marchandises à travers des véhicules routiers embarqués à bord des navires.
- Cette solution agit de façon particulièrement efficace quand le port est en contact direct avec les zones urbaines habitées, comme dans le cas des ports touristiques de Portoferraio et Ille Rousse. Dans ce cas le bruit produit par les activités portuaires est dû principalement aux véhicules, alors que la contribution directe des embarcations est moins significative. Pourtant le bénéfice est relativement majeur.
- La durabilité des résultats atteints par l'installation des asphaltes insonorisant sera évaluée dans le temps afin de comprendre si l'effet de vieillissement peut sensiblement réduire les résultats obtenus au moment de l'installation.
- L'adoption des asphaltes insonorisant pour les places d'embarquement/débarquement fusionne efficacement avec l'utilisation du matériel viscoélastique dans les zones d'appui des portes. Cette dernière intervention a été analysé dans le projet INTERREG Marittime Italie France DECIBEL et à donner des résultats très prometteurs dans la réduction du bruit impulsif produit par des véhicules routiers pendant la phase d'embarquement et de débarquement des navires.
- Le contrôle effectué auprès du port de Nice a montré comment la gestion active de la cartographie acoustique des zones urbaines aux ports peut fournir des indications utiles pour la gestion opérative du port capable de réduire l'impact sonore sur les zones circonvoisines.
- Dans le cas des grands ports commerciaux, reste efficace l'adoption des écrans sonores entre le port et la zone urbaine prochaine. C'est le cas d'une dune en terre recouverte de végétation arborée et arbustive, qui entoure la zone destinée au dépôt et au transport des conteneurs de Genova Prà.
- Le bénéfice acoustique est bénéfique uniquement pour la zone proche au bâtiment, alors qu'il est limité pour les zones plus lointaines, surtout collinaires, et pour les derniers niveaux des édifices qui prospectent le port.

- Un élément limitant est constitué par l'effet réduit de la barrière naturelle e' terre aux basses fréquences. Ces fréquences sont les plus impactantes tant en termes de propagation à grande distance, qu'en termes d'émissions provenant des cheminées des navires.
- Est considéré, en évaluation en termes de coûts-bénéfices, l'amélioration de nature esthétique et de paysage que le bâtiment reflète. La dune est avant tout un écran visuel, qui sépare la zone destinée aux activités industrielles du port aux zones récréatifs et sportifs. Cet élément, combiné à un bénéfice en termes de climat acoustique, permet une meilleure utilisation de la part des citoyens du parc urbain "Fascia di Rispetto "et de la Marine de Prà, rendant certainement plus durable la coexistence entre port et ville.

À tout ceci s'ajoute la réalisation ou le développement dans le cadre du projet RUMBLE de réseaux de mesure du niveau de son qui permettra d'évaluer de façon permanente les niveaux de bruit irradiés par les ports. En particulier, les équipements achetés par les partenaires MNCA et Autorité Portuaire du Système de la Mer Ligure Occidentale seront entretenus, gérés et utilisés par les partenaires pour les activités de mesure du climat acoustique fonctionnel à la projection des travaux d'atténuation après la fin du projet. En outre, les données seront nécessaires pour enrichir la base de données actuellement géré par le partenaire, afin de contrôler et manœuvrer l'état des équipements de planification acoustique actuellement en vigueur et de compétence institutionnelle. Pourtant les données reportées ici seront également utiles pour enrichir les bases de données actuellement gérées par les partenaires du projet, afin de contrôler et surveiller l'état actuel des instruments de planification acoustique actuellement en vigueur et compétence institutionnelle.

À travers les événements transfrontaliers et territoriaux les partenaires présenteront la méthodologie d'acquisition des données (avec les indications spécifiques sur les équipements du point de vue de la qualité, sur les caractéristiques techniques de la campagne de surveillance aussi bien que sur les paramètres acoustiques à relever, avec l'objectif de diffuser le modèle à d'autres établissements propriétaires ou gestionnaires des ports de la haute mer tyrrhénienne, et institutions publiques compétentes sur le thème. De ce point de vue, le partenariat du projet RUMBLE constituera un point de diffusion des activités réalisées à d'autres partenaires des projets financés par le programme INTERREG Maritime Italie-France et plus généralement aux différents "stakeholders " portuaires actives dans la zone choisie, qui fonctionneront comme sujets multiplicateurs des expériences produites. Enfin, au niveau scientifique, UNIGE et UNIPI transféreront dans le suivi du projet les résultats obtenus à la Communauté scientifique intéressée au thème, également à travers les publications en revues de secteur ou dans le cadre de conférences nationales et internationales même en dehors de la zone de coopération.