

PROJET REPORT

“Bruit et Ports”

CUP E48B17001310007

Produit T3.2.1

Rapport de validation du modèle dans T2.2

Composant T3

Activités T3.2

Date de livraison estimée: 08/2020

Date réelle de livraison: 07/2021

Organisation responsable: **Università di Pisa**

Niveau de diffusion		
PU	Publique	X
CO	Confidentiel, réservé aux partenaires	

Nombre de documents à livrer:	T3.2.1
Responsable de la documentation à livrer:	ARPAT Agence régionale pour la protection de l'environnement de la Toscane
Composant:	T3 - vérification et validation des modèles et scénarios développés

Auteur(s) - par ordre alphabétique		
Prénom	Organisation	E-mail
Matteo Bolognese	ARPAT	m.bolognese@arpat.toscana.it
Gaetano Licitra	ARPAT	g.licitra@arpat.toscna.it

Révision du document			
Version	Date	Changements	
		Type de changements	Modifié par

Résumé
Report contenant les rapports des contrôles effectués à l'aide de logiciels libres et les considérations sur la validation des solutions.

Indice

1	Introduction.....	4
1.1	Le modèle de régulation du trafic développé par UNICA.....	4
2	Processus de validation.....	6
2.1	Scénario de validation: le port de Cagliari.....	6
2.1.1	Vieux-Port.....	6
	Bassin Levante.....	7
	Port intérieur.....	7
	Bassin ouest.....	7
3	La campagne de suivi.....	8
3.1	Instrumentation utilisée.....	9
3.2	Campagne de suivi "a".....	9
3.3	Campagne de suivi "b".....	9
3.4	Formation en réseau neuronal.....	10
3.5	Simulation traditionnelle.....	10
4	Résultats.....	13
4.1	Résultats obtenus avec le logiciel SoundPLAN.....	13
5	Comparaison des résultats.....	16
6	Conclusion.....	20

1 Introduction

L'objectif général à long terme du projet REPORT (désormais Projet) est l'atténuation des émissions sonores et de l'impact acoustique des ports de la zone de coopération transfrontalière pour rendre plus durables les infrastructures portuaires de l'Espace Maritime. Tout cela est réalisable grâce à la création d'une approche spécifique pour la gestion correcte du bruit portuaire actuellement absent du système réglementaire, destinée à tous ceux qui entendent atténuer l'impact acoustique des ports. Cette méthodologie, développée de manière pluridisciplinaire grâce aux différentes compétences des instances scientifiques qui composent le partenariat, a vocation à être mise en œuvre et intégrée au sein de la directive 2002/49/CE. En effet, cette dernière ne requiert pas spécifiquement une évaluation du bruit émis par les ports mais l'assimile à du bruit industriel sans tenir compte des caractéristiques et particularités de ces réalités, telles que les sources sonores complexes de nature et de caractéristiques différentes, la répartition des sources eux-mêmes, des caractéristiques particulières de propagation (ex : plan d'eau devant les infrastructures). Par ailleurs, une intégration de la législation du point de vue de l'impact sonore viendrait compléter le tableau de l'analyse des pollutions par les agents physiques (incluant déjà les approches relatives à la pollution atmosphérique).

Les simulations numériques et les nouveaux algorithmes et méthodologies conçus pour décrire et définir les meilleures stratégies communes de réduction de la pollution sonore développées dans le cadre du projet sont par nature de nature générale et donc conçus pour être applicables et reproductibles dans chaque réalité portuaire. Cela permet donc d'assurer le développement durable des ports de commerce et des plateformes logistiques connectées, assurant leur croissance et leur expansion, tout en permettant de limiter l'impact sur la population urbaine environnante dont la sensibilité dans le contexte des nuisances sonores est toujours croissante.

En particulier, les modèles développés sont au nombre de quatre, pour chacun desquels une activité spécifique a été définie au sein de la Composante T2 du Projet :

- Activités T2.1 "Développement d'un modèle de simulation de bruit », confié au **CSTB**;
- Activités 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 " confiées à l'Université de Cagliari (ci-après **UNICA**);
- Activités 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 " confiée au Département d'ingénierie de l'Université de Pise;
- Activités T2.4 "Evaluation des coûts sociaux liés aux nuisances sonores dans les ports " confiée à l'Université de Corse Pasquale Paoli.

Pour démontrer la justesse et l'efficacité des modèles développés, il est essentiel de mettre en place une activité de validation. Le composant T3 contient en son sein les trois activités de validation T3.1, T3.2 et T3.3 relatives respectivement aux modèles développés dans les Activités T2.1, T2.2 et T2.3.

L'activité T3.2, dont ce document fait partie intégrante, a été confiée à **ARPAT** qui, en collaboration avec **UNICA**, a planifié les activités de validation des résultats obtenus à partir du modèle de régulation du trafic développé par **UNICA** elle-même.

Pour rendre l'activité de validation plus compréhensible, nous résumons brièvement la nature du modèle soumis à validation dans le paragraphe suivant.

1.1 Le modèle de régulation du trafic développé par UNICA

Le modèle, développé lors de l'Activité T2.2 par le partenaire **UNICA**, est basé sur un réseau de neurones. Une fois entraîné, le réseau fournit des niveaux de bruit environnemental à des récepteurs spécifiques en fonction des données de trafic.

Cependant, il est souligné que le but du modèle dynamique est né d'apporter une réponse à des besoins différents par rapport aux modèles avec les logiciels de prévision traditionnels. Le modèle de réseau de neurones objet de la recherche du partenaire UNICA, est né comme module d'un DSS pour la gestion du trafic en "temps réel", donc avec une approche différente du modèle statique, qui, pour les besoins de cette activité de validation est obligé d'émuler un régime variable. Le modèle de réseau de neurones a en effet pour objectif de surveiller les niveaux de bruit au cours du temps en des points d'intérêt critiques, représentatifs du champ acoustique en général, et d'évaluer instantanément son évolution. Par ailleurs, la représentativité ou non des points pourrait également être vérifiée à l'aide de modèles classiques. Par conséquent, les deux modèles peuvent fonctionner en synergie et remplir des fonctions très différentes.

Le réseau de neurones est ensuite appliqué au trafic routier à proximité de la zone portuaire dans le but de permettre des estimations des niveaux sonores en des points spécifiques du réseau sur la base de données de trafic uniquement, telles que le nombre de transits et la vitesse de transit pour les quatre catégories de véhicules

défini par le **CNOSSOS**. Par conséquent, un partenaire de surveillance du bruit et de la circulation automobile est requis dans le réseau routier adjacent au port en question. Au cours du développement, des campagnes de surveillance à cet effet ont été menées à Olbia. Lors des campagnes de surveillance, chaque arche routière a été surveillée au moyen d'un compteur de trafic et d'un sonomètre. Les données ont été enregistrées avec une résolution temporelle de 100 ms et fournies au réseau de neurones sous forme agrégée avec une base de temps d'une minute, cinq minutes ou une heure.

Une fraction des données (environ 20 % du total) a été utilisée pour former le réseau et la partie restante pour la validation et les tests. Les résultats ainsi obtenus sont très satisfaisants.

2 Processus de validation

Le processus de validation du modèle joue un rôle important dans le projet.

Dans le cas particulier du modèle développé par l'UNICA, le plan de validation défini par **ARPAT**, en accord avec **UNICA**, a pour objectif d'évaluer la cohérence et la répétabilité des résultats obtenus.

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 en réseau sur une fraction des données de suivi par **UNICA**;
- génération d'estimations des niveaux de bruit à travers le réseau neuronal 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 neuronal et celles fournies par les logiciels de prévision traditionnels avec les niveaux mesurés lors de la suivi;
- comparaison du niveau d'incertitude du réseau avec celui fourni par les logiciels traditionnels.

La première étape de validation consiste en l'exécution de campagnes de suivi spécifiques. Dans les paragraphes suivants, nous décrivons le scénario désigné pour la validation, c'est-à-dire le réseau routier devant le port de Cagliari.

2.1 Scénario de validation: le port de Cagliari

La Figure Figure 1 montre la carte de toutes les composantes du port de Cagliari, cependant à des fins de validation la région du port d'intérêt est celle de Porto Vecchio.



Figure 1 - Carte des zones du port de Cagliari.

2.1.1 Vieux-Port

Le vieux port de Cagliari est une infrastructure logistique importante pour l'ensemble de la Sardaigne et l'un des ports les plus importants de la mer Méditerranée en termes de marchandises et de passagers. Le port, comme on peut le voir sur la Figure Figure 2, est délimité par deux brise-lames externes, le brise-lames ouest et le brise-lames est, et par un ouvrage interne, la jetée Ichnusa.

Ces ouvrages divisent le port de commerce en trois bassins distincts:

- *bassin du Ponente*, entre la digue ouest et le Molo Sabauda;
- *port intérieur*, entre l'embarcadère Savoy et l'embarcadère d'Ichnusa;

- *bassin de Levante*, entre la jetée d'Ichnusa et le brise-lames oriental.

Le plan d'eau s'étend sur un total de 2 065 000 m², avec des profondeurs allant jusqu'à douze mètres, la superficie terrestre est de 333 250 m², l'aménagement côtier du port s'élève à plus de 11 000 m, dont 4 800 m de quais.

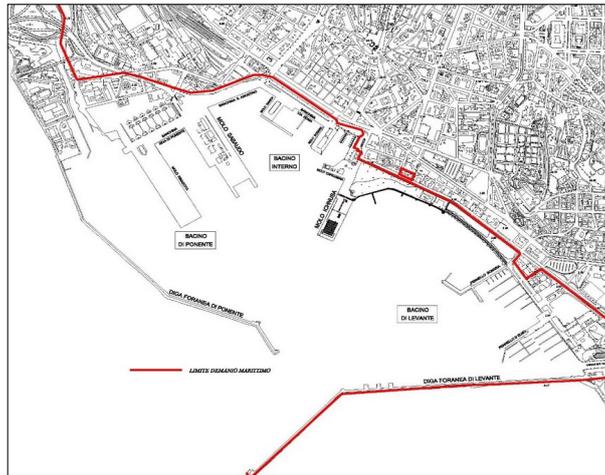


Figure 2 - Carte du Porto Vecchio de Cagliari avec indication de la limite de la zone portuaire.

Dans les brise-lames du port de commerce, il y a un peu plus de 7 km de développement riverain, dont 2 400 m pour les *opérations commerciales* et le *trafic de passagers*.

Les zones portuaires précitées sont articulées comme indiqué ci-dessous.

Bassin Levante

Miroir d'eau : 972 000 m², avec des profondeurs de 3 à 12 m, il est destiné à un port touristique. Actuellement, entre les jetées de Sant'Elmo et de Bonaria, s'amarront les *bateaux de plaisance* et les *bateaux de pêche* et les activités nautiques des clubs sportifs basés dans les zones à terre, également utilisées pour les activités de restauration, ont lieu. Les espaces derrière la calata dei Mercedari sont utilisés pour le stockage et l'abri des bateaux de plaisance.

Le front de mer de Su Siccu est utilisé, conformément aux dispositions du plan réglementaire du port, qui l'identifie comme "Bonaria Park", avec des espaces verts et une promenade.

Le côté est de la jetée d'Ichnusa est utilisé exclusivement pour les besoins de service de la Marine.

Port intérieur

Miroir d'eau de 298 000 m², avec des profondeurs de 3 à 8 mètres, comprend les ouvrages portuaires les plus anciens et coïncide avec la partie centrale du vieux port, située entre la jetée d'Ichnusa et la calata de Sant'Agostino.

La jetée est prévue par le schéma directeur du port pour les services d'hébergement touristique. Actuellement, le quai est occasionnellement utilisé pour l'amarrage de *navires de croisière* ou de navires militaires, en attendant sa réutilisation au profit de maxi-yachts.

Bassin ouest

Il embrasse la zone commerciale du vieux port, aujourd'hui utilisée pour le trafic intense de marchandises (avec des *navires rouliers*) et de passagers (avec des paquebots ou en transit sur des bateaux de croisière).

3 La campagne de suivi

La campagne de suivi du trafic s'est déroulée sur le réseau routier entourant le Vieux-Port et en particulier les régions du Bassin du Ponente et du Bassin Intérieur Port. La Figure Figure 3 montre une image satellite de la zone dans laquelle le réseau routier de la ville est mis en évidence.



Figure 3 - Zone du vieux port de Cagliari. Le port est entouré d'importantes artères de transport urbain, ainsi que de la route européenne E25 qui, sur un parcours de 1547 km à travers terre et mer, relie Hoek van Holland (Pays-Bas) à Palerme via la Belgique, le Luxembourg, la France et la Suisse.

Comme on peut le voir sur la Figure Figure 4, le réseau routier comporte via Roma à l'est, une large avenue à 3 voies dans chaque sens caractérisée par un trafic intense de véhicules légers et lourds (principalement des bus de transport urbain) et, parallèlement à celle-ci, le front de mer "New York le 11 septembre" caractérisé par une circulation de véhicules légers à très basse vitesse. À l'extrémité ouest, via Roma et le front de mer de New York se fondent dans une intersection complexe caractérisée par des feux de circulation et un rond-point. En correspondance de cela, il y a un accès au port. À l'ouest de l'intersection, converge la Via Molo Sant'Agostino qui, en continuant vers l'ouest, bifurque dans la Via Ripa di Ponente et la Viale La Plaia, toutes deux à sens unique à deux voies et caractérisées par une circulation automobile intense.

Le suivi des niveaux de bruit, contrairement à ce qui avait été indiqué par le partenaire de **UNICA**, n'a pas été réalisé simultanément, mais au travers de deux campagnes différentes, d'une durée chacune supérieure à 48 heures. Les campagnes ont couvert deux portions distinctes du réseau routier observé, en surveillant chacune trois points. La Figure Figure 4 montre les points surveillés.

Malgré la non-contemporanéité des deux moniteurs pourrait constituer un problème pour le réseau neuronal, aux fins de modélisation avec les logiciels de prévision traditionnels, pour garantir l'exactitude des résultats il suffit que les niveaux de bruit mesurés en chacun des points du réseau sont indépendants des niveaux présents dans les autres points, c'est-à-dire que tout trafic intense dans l'un des points ne modifie pas le niveau de fond des points voisins. Cette hypothèse peut être considérée comme satisfaite compte tenu de la distance entre les points de suivi et de la corrélation entre les trafics.

Pour vérifier cette hypothèse, des simulations spécifiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SoundPLAN. Les niveaux de bruit de fond aux points du réseau B en présence de trafic sur les tronçons routiers du réseau A et inversement ont été calculés séparément pour les périodes de jour et de nuit. Les niveaux de bruit de fond présents dans l'une des deux moitiés du réseau pendant la période de jour (nuit) ont été calculés à partir du niveau de bruit maximal trouvé dans l'autre moitié du réseau à la même période. Ces niveaux ont ensuite été comparés aux niveaux de bruit minimaux trouvés pendant les périodes diurnes (nocturnes) de la surveillance. A partir de la comparaison, le rapport signal sur bruit a ensuite été calculé. En particulier, le rapport signal sur bruit minimum a été trouvé au point Pa2 pendant la période nocturne et était égal à 12,0 dB (A). Ainsi, en période nocturne l'erreur sur l'estimation des niveaux du réseau A provoquée par le trafic des points du réseau B peut être estimée inférieure à 0,3 dB(A). Comme pour la période diurne, les rapports signal sur bruit sont supérieurs à 20 dB (A), donc l'erreur résultante est inférieure à 0,1 dB (A).

3.1 Instrumentation utilisée

Le suivi des niveaux sonores le long du réseau routier a été réalisé à l'aide de sonomètres de classe 1 comme l'exige la législation. La circulation des véhicules a été surveillée au moyen de compteurs de trafic et au moyen de caméras en tenant compte des catégories de véhicules suivantes:

- Catégorie 1 - véhicules légers <3.5 t;
- Catégorie 2 - Véhicules medi >3.5 t;
- Catégorie 3 - véhicules lourds;
- Catégorie 4.a - motocyclettes <50cc;
- Catégorie 4.b - motocyclettes >50cc.

La suivi du trafic a été effectuée avec une base de temps de 100 ms et des données agrégées avec une base de temps de 1 min, 5 min et 1 heure ont été fournies. La base de temps de 100ms a permis d'identifier l'unique véhicule en transit en enregistrant sa vitesse. En plus des données brutes, des indicateurs tels que la capacité, la densité du trafic, le facteur d'heure de pointe et le débit horaire par direction ont également été fournis.

Le suivi phonométrique et du trafic s'est accompagné d'un suivi météorologique, nécessaire pour exclure les intervalles de temps avec des conditions météorologiques défavorables selon la législation en vigueur (vitesse du vent supérieure à 5m/s ou apparition de précipitations telles que pluie, grêle ou neige).

3.2 Campagne de suivi "a"

Le premier suivi réalisé concerne les points Pa1, Pa2 et Pa3, indiqués sur la Figure Figure 4 par des symboles verts. A chaque point, des données de niveau et de trafic sont disponibles. La durée utile globale de suivi est de 52 heures à partir de 02h00 le 13 juillet 2020 jusqu'à 06h00 le 15 juillet 2020.



Figure 4 - Détail du réseau routier surveillé avec indication de la position des unités de suivi 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.

3.3 Campagne de suivi "b"

La seconde suivi concerne les points Pb4, Pb5 et Pb6, indiqués sur la Figure Figure 4 par des symboles bleus, qui sont nécessaires à la reconstitution des flux de trafic induits par la réalité portuaire complexe. En raison de la complexité du réseau routier, des mesures de trafic plus complexes ont été réalisées, ce qui a nécessité l'utilisation de plus de compteurs de trafic pour deux des trois points (Pb5 et Pb6). Au point Pb5 (5) trois compteurs de trafic ont été utilisés, un dans chaque sens sur Via Roma (CT-101 et CT-102) et un sur Lungomare New York 11 Settembre.



Figure 5: Détail du point Pb5 avec compteur de trafic.

Au point Pb6 (6), en plus du compteur de trafic visé via Ripa di Ponente, un compteur de trafic supplémentaire a été utilisé pour surveiller le trafic entrant dans le port (CT-99).



Figure 6: Détail du point Pb6 avec compteur de trafic.

La durée utile globale de suivi est de 53 heures à partir de 10h00 le 15 juillet 2020 jusqu'à 15h00 le 17 juillet 2020.

3.4 Formation en réseau neuronal

La formation du réseau neuronal a été réalisée par le partenaire **UNICA** qui a reçu des données de trafic relatives à toute la durée de la suivi et des données de bruit relatives à 90 % de la durée totale de la suivi.

UNICA a utilisé les données relatives à la première partie de la suivi (celle qui avait à la fois les données de bruit et les données de trafic) pour effectuer la formation du réseau (formation) et le test ultérieur. Les données relatives à la deuxième phase de suivi (celle dont **UNICA** ne disposait que des données de trafic) ont été utilisées pour effectuer une validation à l'aveugle. Pour effectuer la validation à l'aveugle, **UNICA** a produit des estimations des niveaux de bruit sur la base des données de trafic uniquement, sans connaître les niveaux de bruit réels. **ARPAT** a ensuite comparé ces estimations avec les niveaux de bruit mesurés lors de la suivi et avec les estimations produites par le logiciel SoundPLAN.

Nous précisons que les estimations sur la première et la dernière heure de suivi n'ont pas été fournies en raison des particularités du réseau.

3.5 Simulation traditionnelle

Parallèlement à l'apprentissage du réseau neuronal, **ARPAT** a traité les données de transit et les niveaux de bruit associés afin de permettre leur importation dans le logiciel de prévision traditionnelle SoundPLAN.

SoundPLAN est basé sur la méthode du ray-tracing, et est capable de calculer la propagation du bruit émis par des sources de type ponctuelles, linéaires ou surfaciques dans tout l'espace environnant. Le résultat du calcul est le niveau sonore global dû à toutes les sources présentes (avec possibilité de distinguer les contributions des sources individuelles ou des groupes de sources) sur un ensemble de points choisis. Le résultat peut également être exprimé sous forme de carte en fausses couleurs si vous choisissez de calculer les niveaux sur une matrice

de points, ou sous forme de tableau.

Les sources routières ont été évaluées en insérant, dans l'infrastructure correspondante, les volumes de trafic mesurés, répartis en classes de véhicules distinctes dans le modèle **CNOSSOS**.

Le modèle acoustique a été développé en tenant compte des périodes de référence de la législation européenne (jour, de 06h00 à 20h00, soirée, de 20h00 à 22h00 et nuit, de 22h00 à 06h00).

Généralement, l'élaboration d'un modèle acoustique s'effectue en suivant les étapes suivantes :

- caractérisation géographique du territoire ;
- création du modèle 3D de la zone ;
- définition et localisation des sources et des récepteurs ;
- caractérisation acoustique des sources et insertion des puissances et spectres sonores dans le modèle ;
- définition de la zone de calcul ou des récepteurs ;
- exécution du calcul ;
- validation du modèle acoustique.

Pour la caractérisation géographique du territoire, les données cartographiques nécessaires ont été trouvées : le réseau d'infrastructures (route), les bâtiments, les points d'élévation et les lignes d'élévation, et l'occupation du sol.

La réalisation du modèle passe par la définition du Modèle Numérique de Terrain (MNT), qui représente le sol et tous les obstacles naturels présents dans la zone d'intérêt. Le MNT est donc défini à partir de points d'élévation et de lignes d'élévation. La partie restante du modèle 3D est constituée des bâtiments, c'est-à-dire l'ensemble des bâtiments et obstacles artificiels présents dans la zone (barrières acoustiques, murs, etc...) et l'utilisation du terrain, qui attribue des valeurs adéquates au surface du MNT réflectivité et absorption en fonction du type de sol. Nous soulignons que les valeurs d'absorption acoustique associées aux surfaces de chaque bâtiment sont également indiquées au sein du modèle de bâtiment.

Afin de caractériser acoustiquement les sources, un nombre de fichiers cartographiques shapefile (.shp) égal au nombre d'heures de suivi n. Chaque fichier .shp contient le modèle de l'ensemble du réseau routier surveillé. Au sein de chaque fichier .shp relatif à un temps de suivi particulier, les arches routières spécifiques de la suivi ont été attribuées aux flux horaires de véhicules et aux vitesses moyennes relatives pour chaque classe de véhicule. Il en va de même pour la suivi des fichiers .shp associés b.

Pour optimiser l'insertion du .shp dans SoundPLAN, 3 "situations" ont été définies pour les deux monitoring. Au sein de SoundPLAN, différentes situations correspondent à différentes variantes du modèle dans lesquelles différentes sources de bruit et/ou différents éléments 3D peuvent être insérés. Pour chaque situation, il est possible de calculer le niveau de bruit pour trois périodes distinctes de la journée (période jour, soirée et nuit), c'est pourquoi chacune de ces périodes a été affectée à des débits et vitesses de véhicules relatifs à une heure de suivi différente (Figure Figure 7). De cette manière il a été possible de réduire le nombre de situations à créer à n/3.

	Veic/h(d)	p(d)[%]	Veic/h(e)	p(e)[%]	Veic/h(n)	p(n)[%]
	86.0	100.0	40.0	100.0	52.0	100.0
	Veic/h(d)	p(d)[%]	Veic/h(e)	p(e)[%]	Veic/h(n)	p(n)[%]
1 - Light motor vehicles	85.0	98.8	38.0	95.0	48.0	92.3
2 - Medium heavy vehicles	1.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
3 - Heavy vehicles	0.0	0.0	2.0	5.0	1.0	1.9
4a - Powered twowheelers (Mopeds)	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.8
4b - Motor-, Tri- and Quadricycles	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.9

LwAeq	d(6-20h)	e(20-22h)	n(22-6h)
dB(A)	68.07	66.18	66.85

Figure 7 - En vert le flux de trafic à 02h00, en bleu clair le flux de trafic à 03h00, en magenta le flux de trafic à 04h00.

Les situations ont donc été nommées sur la base du suivi auquel elles appartiennent:

- les "situations #a" se réfèrent à la campagne de suivi a, incluant ainsi le flux de véhicules de viale La Plaia et la section ouest de via Ripa di Ponente, en plus des récepteurs Pa1, Pa2 et Pa3;
- les "situations #b" se réfèrent à la campagne de suivi b, incluant ainsi le flux de véhicules de la section est

de via Ripa di Ponente, de la section à l'intérieur du port où se trouvait le compteur de trafic "CT-99" de via Molo Sant 'Agostino, Lungomare New York 11 settembre et via Roma ainsi que les récepteurs Pb4, Pb5 et Pb6 ;

où # représente le numéro de la situation.

À titre explicatif, voici un exemple d'importation de données se rapportant à la campagne de suivi dans SoundPLAN pour:

- "Situation 1 a", viale la Plaia, de 02h00 à 04h00 le 13 juillet 2020 (Figure Figure 7);
- "Situation 2 a", viale la Plaia, de 05h00 à 07h00 le 13 juillet 2020;

jusqu'à:

- "Situation 18 a", viale la Plaia, de 03h00 à 05h00 le 15 juillet 2020.

Les vitesses moyennes relatives associées ont également été rapportées pour chaque catégorie de véhicule considérée (Figure Figure 8).

Tipo veicoli	V(d) [km/h]	V(e) [km/h]	V(n) [km/h]	Qstud [%]	Ts [mesi]
Cat1	39.6	43.0	42.7	0.0	0.0
Cat2	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cat3	0.0	28.0	18.0	0.0	0.0
Cat4a	0.0	0.0	47.7	0.0	0.0
Cat4b	0.0	0.0	47.7	0.0	0.0

Figure 8 - en vert la vitesse moyenne se référant au flux de trafic à 02h00, en bleu clair celle de 03h00, en magenta celle de 04h00.

SoundPLAN associe automatiquement un revêtement routier standard aux routes saisies. Suite aux premiers calculs, la nécessité de modifier la chaussée associée aux différentes sources routières a été soulignée. En effet, dans le cas où les résultats obtenus à partir du modèle seraient surestimés ou sous-estimés par rapport aux valeurs obtenues avec les campagnes de suivi, le revêtement routier associé au programme a été remplacé par un plus ou moins diffuseur.

Surtout dans le cas de la campagne de suivi b, il a été nécessaire d'utiliser des revêtements routiers peu bruyants. Ci-dessous un exemple de graphique se référant à la station Pb5 (Figure Figure 9):

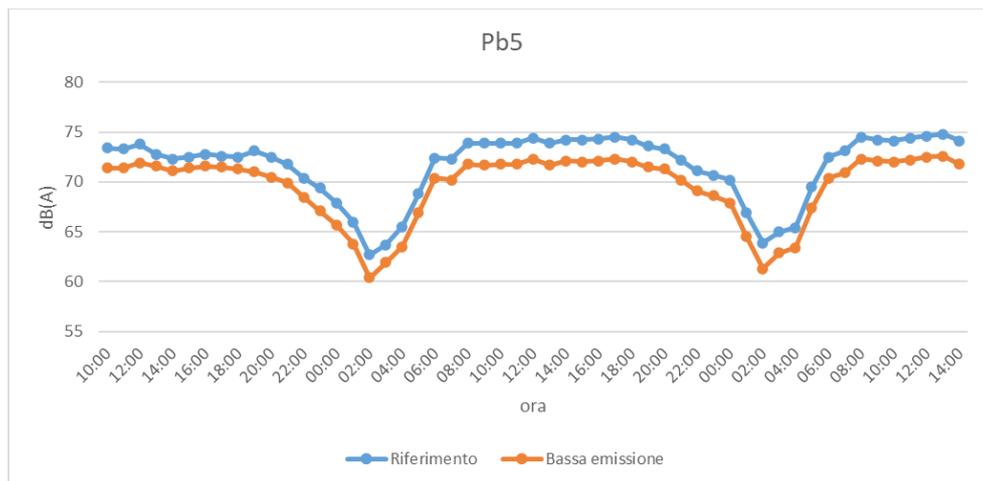


Figure 9 - Différence entre les résultats obtenus avec un revêtement routier de référence et un revêtement routier à faibles émissions.

4 Résultats

4.1 Résultats obtenus avec le logiciel SoundPLAN

Les résultats suivants ont été obtenus à partir du calcul du modèle acoustique des sources de bruit routier, les tendances pour chaque récepteur représentées dans des graphiques et divisées en campagnes de suivi :

- campagne de suivi *a* (10, 11, 12):

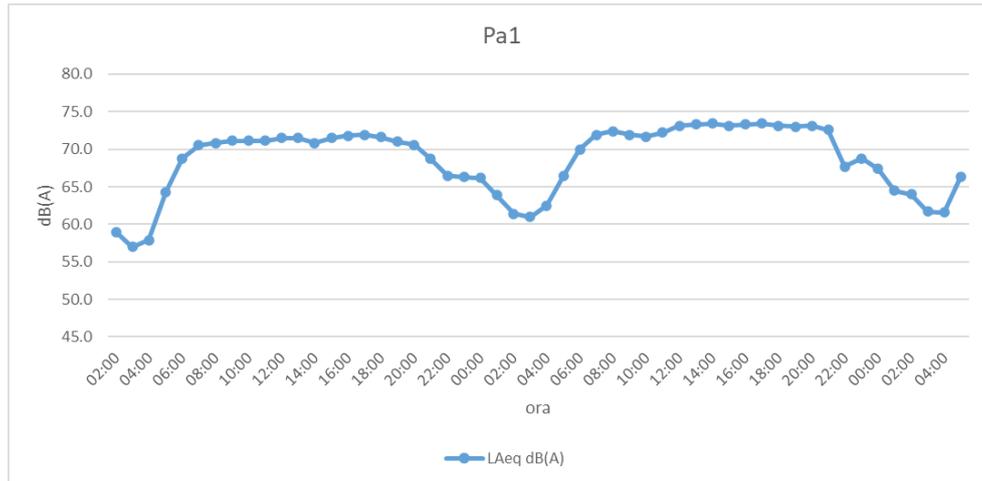


Figure 10 - Déroulement dans le temps des niveaux obtenus au niveau du récepteur Pa1.

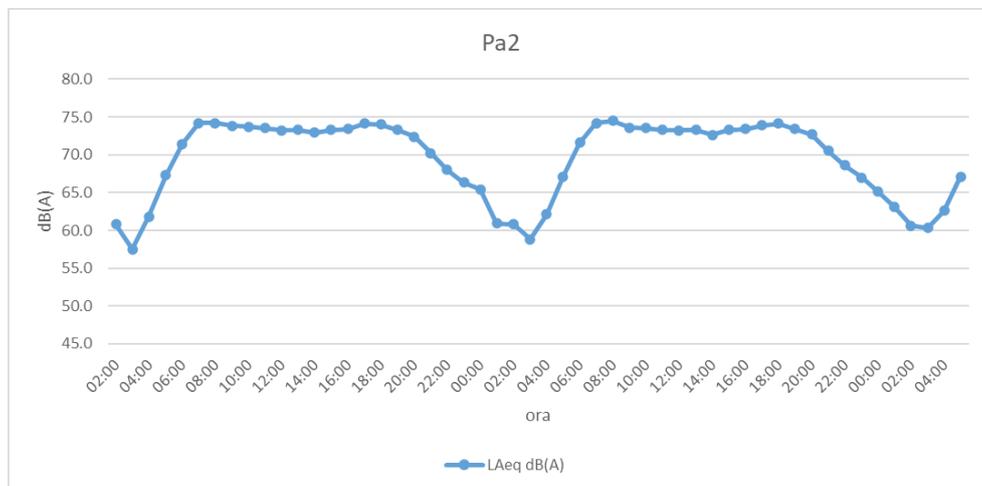


Figure 11 - Déroulement dans le temps des niveaux obtenus au niveau du récepteur Pa2.

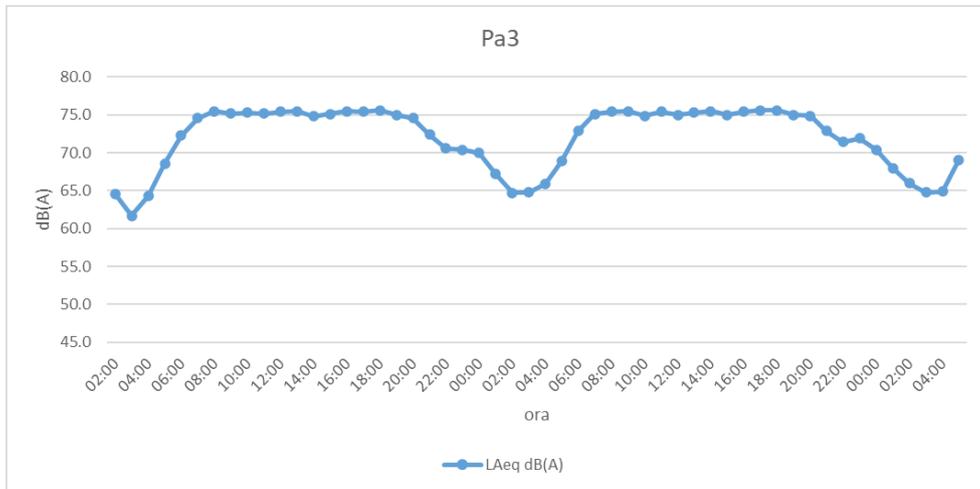


Figure 12 - Déroulement dans le temps des niveaux obtenus au niveau du récepteur Pa3.

- campagne de suivi b (13, 14, 15):

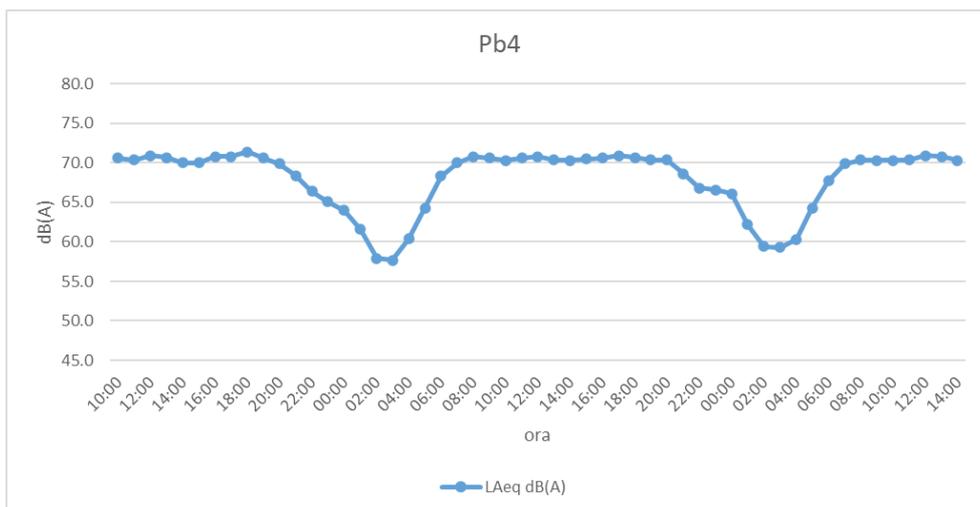


Figure 13 - Déroulement dans le temps des niveaux obtenus au niveau du récepteur Pb4.

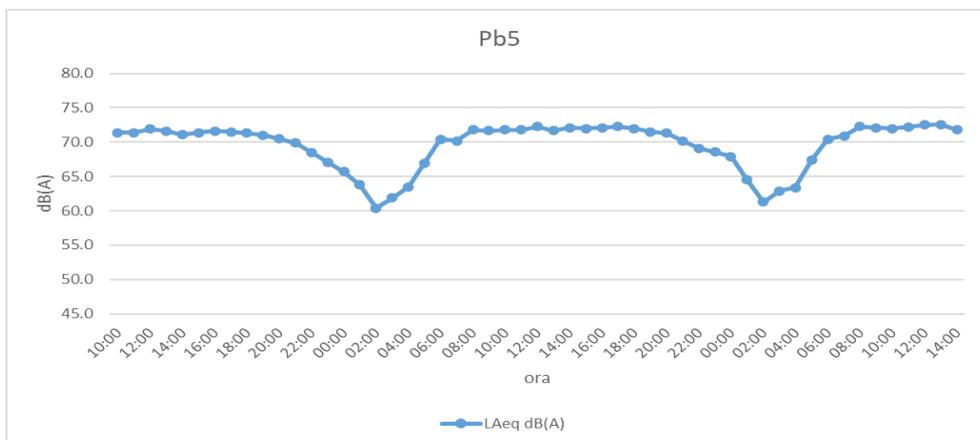


Figure 14 - Déroulement dans le temps des niveaux obtenus au niveau du récepteur Pb5.

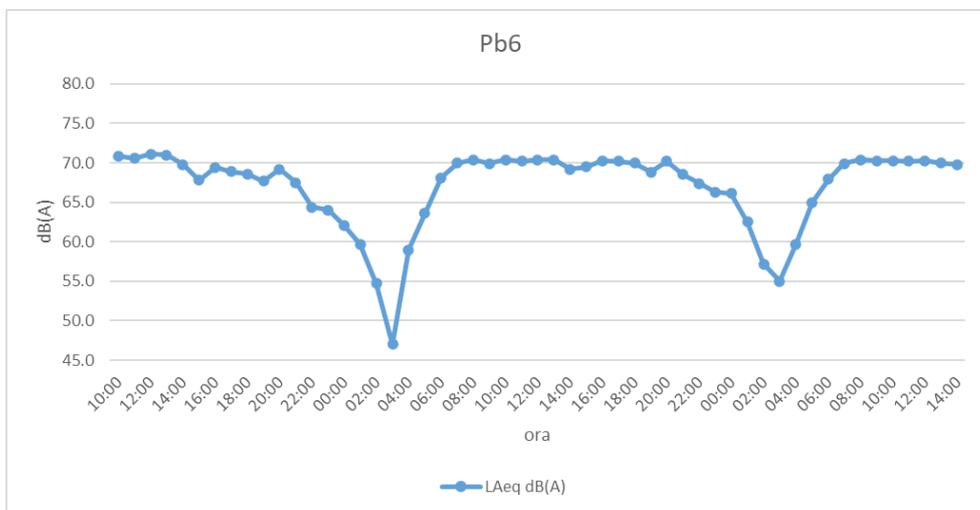
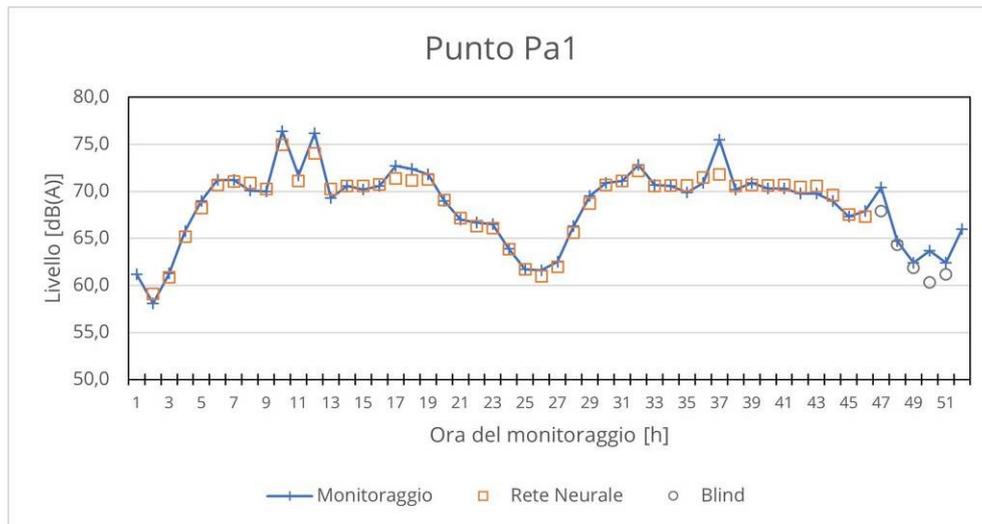


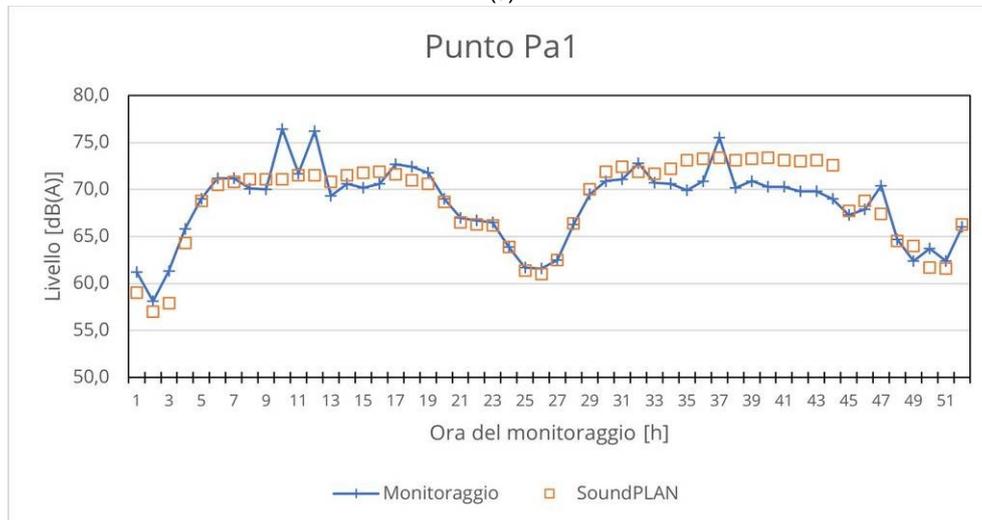
Figure 15 - Déroulement dans le temps des niveaux obtenus au niveau du récepteur Pb6.

5 Comparaison des résultats

Dans ce chapitre, nous comparerons les résultats obtenus grâce aux deux logiciels avec les niveaux mesurés lors de la campagne de suivi. En particulier, nous évaluerons les performances (en termes d'écart moyen entre le niveau estimé et le niveau réel) obtenues du réseau neuronal lors de la validation « aveugle », c'est-à-dire sans connaître le niveau de bruit réel. Les 16, 17 et 18 suivantes montrent les tendances temporelles des résultats obtenus à l'aide des deux méthodes. Dans les figures relatives au réseau neuronal, les points relatifs à la validation en aveugle sont colorés en gris. En raison d'un problème technique, il n'a pas été possible de former le modèle sur les points de suivi b dans les termes du projet mais cela sera fait plus tard. Nous limitons donc l'analyse aux seuls points de suivi a.

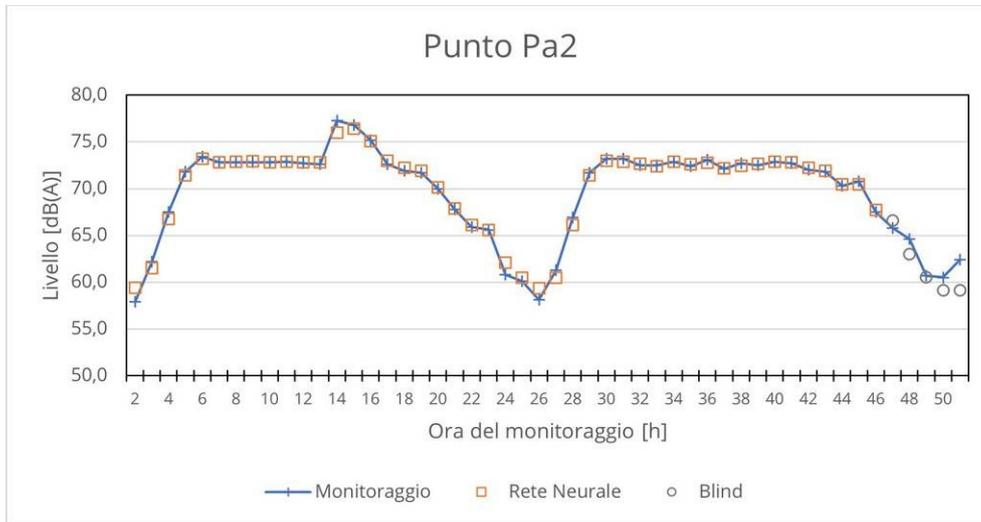


(a)

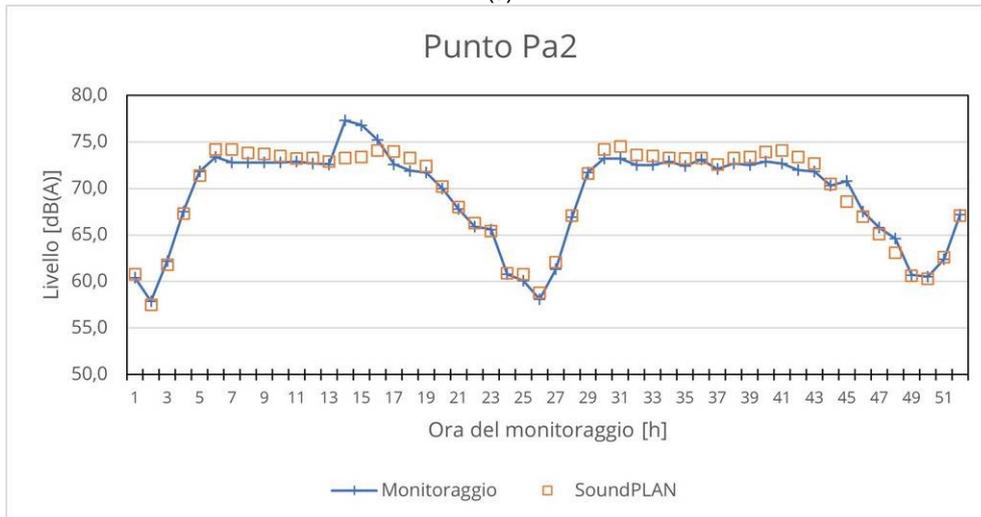


(b)

Figure 16 - Comparaison entre les résultats du suivi au point Pa1 et les prédictions des modèles. a) Tendence temporelle des résultats fournis par le réseau neuronal, en gris les estimations fournies sans connaître les niveaux de bruit réels. b) Déroulement dans le temps des résultats fournis par le logiciel SoundPLAN.

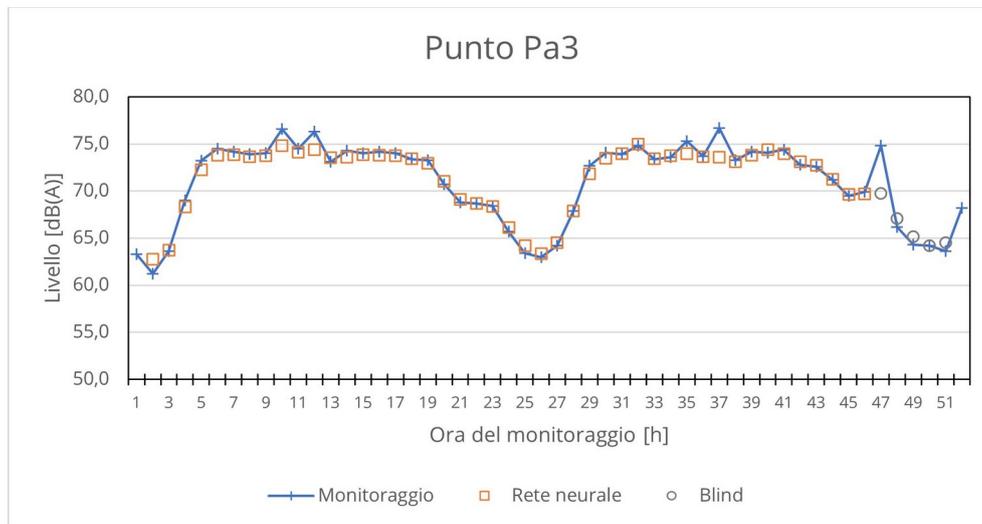


(a)

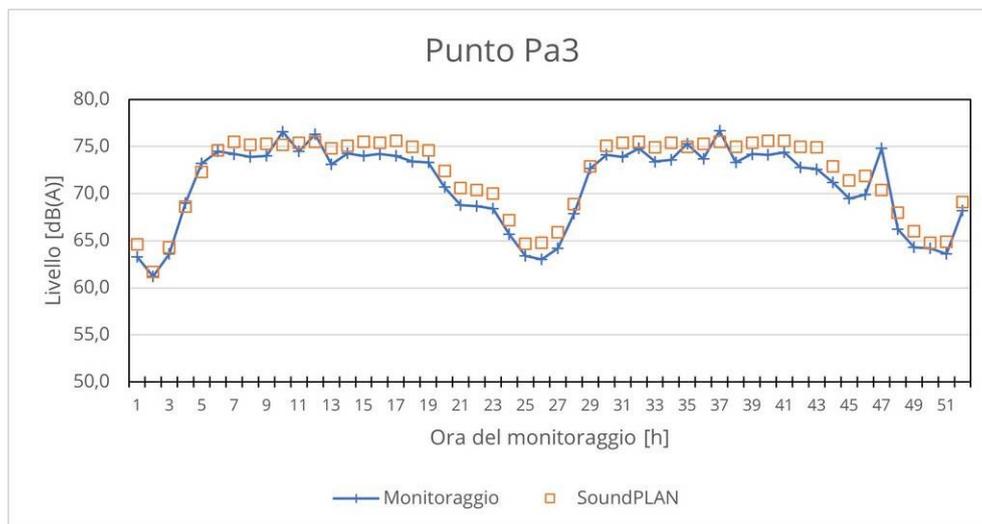


(b)

Figure 17 - Comparaison entre les résultats du suivi au point Pa2 et les prédictions du modèle. a) Tendence temporelle des résultats fournis par le réseau neuronal, en gris les estimations fournies sans connaître les niveaux de bruit réels. b) Déroulement dans le temps des résultats fournis par le logiciel SoundPLAN.



(a)



(b)

Figure 18 - Comparaison entre les résultats du suivi au point Pa3 et les prédictions du modèle. a) Tendence temporelle des résultats fournis par le réseau neuronal, en gris les estimations fournies sans connaître les niveaux de bruit réels. b) Déroulement dans le temps des résultats fournis par le logiciel SoundPLAN.

Comme on peut le voir sur les figures, le réseau neuronal 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 tout à fait aléatoire, les heures de surveillance correspondant à la validation aveugle correspondent exactement à l'une de ces périodes, elle doit donc être prise en compte dans l'évaluation des performances du réseau neuronal.

En revanche, les estimations faites selon la méthode traditionnelle, bien que produisant en moyenne de très bons résultats, sont moins cohérentes avec la tendance temporelle. Ceci est particulièrement évident au point Pa1, 16, où entre la 33e et la 45e heure de surveillance, les tendances des niveaux réels et des niveaux estimés sont manifestement discordantes. Néanmoins, comme le montre le 1, l'erreur moyenne sur toute la durée de la surveillance est contenue.

Tableau 1 - Résumé des résultats de la validation.

		Pa1			Pa2			Pa3		
		Moyenne dB(A)	Écart-type	Corrélation	Moyenne dB(A)	Écart-type	Corrélation	Moyenne dB(A)	Écart-type	Corrélation
Revêtement de sol standard	Étalonnage	-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
	Le total	-0,8	1,9	0,91	-0,5	1,2	0,97	0,4	1,1	0,97
Revêtement de sol alternatif	Étalonnage	-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
	Le total	0,2	1,9	0,9	0,2	1,1	0,98	1	1,1	0,96
Réseau neuronal	Entraînement	-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
	Le total	0,4	1	0,97	0,1	0,7	0,99	0,3	1	0,97

6 Conclusion

Au cours de la composante T2 du projet, plusieurs modèles mathématiques liés au bruit portuaire ont été développés. En particulier, l'Université de Cagliari (UNICA) a développé un réseau de neurones qui, sur la base du trafic transitant sur le réseau routier, est en mesure de fournir des estimations du bruit généré. Le réseau permet de faire des devis sur une base de temps très courte, voire une minute. En produisant ces estimations, le Modèle garantit des avantages incontestables en termes de puissance de calcul et de temps de traitement des données nécessaires pour prévoir les niveaux attendus par rapport aux logiciels de simulation traditionnels.

Au cours de l'Activité T3.2, **ARPAT** a interagi avec **UNICA** pour valider le Modèle sur un scénario qui lui était inconnu, constitué du réseau routier devant le Port de Cagliari et a finalement effectué une validation à l'aveugle pour **UNICA** lui-même. Les résultats obtenus à partir du réseau de neurones « non aveugle » sont très positifs, avec une différence moyenne maximale de 0,3 dB (A) et un écart type de 0,5 dB (A) et 0,9 dB (A) par rapport aux niveaux de bruit mesurés.

Les prédictions en aveugle sont caractérisées par une différence moyenne plus importante, allant de 0,5 dB (A) pour le point Pa3 à 1,6 dB (A) pour le point Pa1. Ces résultats pourraient être dus à la particularité du trafic dans les heures qui ont été réservées à la validation à l'aveugle. Il s'agit en effet d'heures nocturnes à faible trafic, avec un pourcentage de poids lourds parfois supérieur à la moyenne, et une vitesse horaire moyenne supérieure à la vitesse des heures diurnes. Bien que le blind test ait porté sur les heures de nuit, donc les plus défavorables, les résultats obtenus par le réseau de neurones sont satisfaisants, ce qui plaide en faveur de la bonté du travail réalisé par le partenaire UNICA, puisque le test a été réussi même dans les pires conditions.

Les résultats obtenus par les logiciels traditionnels sont en moyenne légèrement meilleurs dans les heures dédiées à la validation à l'aveugle, avec des écarts moyens allant d'un minimum de 0,2 dB (A) à un maximum de 1,3 dB (A) et des écarts types qui oscillent entre 0,3 dB (A) et 1,2 dB(A). Cependant, l'erreur moyenne sur toute la durée de la surveillance est plus élevée, tandis que les coefficients de corrélation entre le niveau de bruit estimé et réel sont plus faibles (de 0,90 à 0,98) que ceux obtenus avec le réseau de neurones (toujours supérieurs à 0,97).

En observant les tendances temporelles, il est évident que celles produites par le réseau de neurones sont plus proches des niveaux réels, tandis que celles générées par les logiciels traditionnels voient plus souvent des écarts. Ceux-ci pourraient être dus à des caractéristiques du trafic qui ne peuvent pas être décrites de manière adéquate par les vitesses moyennes par heure et le nombre de véhicules par heure. Ces caractéristiques ne peuvent pas être résolues par un logiciel traditionnel, basé sur des valeurs moyennes. En effet, si sur SoundPLAN il était nécessaire de fonctionner avec des flux de trafic relatifs à une période horaire, le réseau, une fois entraîné, fournit des niveaux de bruit ambiant à des récepteurs spécifiques avec un niveau de détail beaucoup plus élevé (minute par minute). De cette façon, il est possible d'identifier avec une plus grande clarté les événements qui affectent la qualité des résultats obtenus, permettant non seulement d'exclure plus facilement les valeurs aberrantes, mais aussi de retracer la cause précise.

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 à des intervalles plus courts, alors qu'ils fournissent des résultats d'une fiabilité prouvée sur des intervalles de temps beaucoup plus longs. En revanche, le modèle traditionnel permet la création de cartes en un seul passage, alors que le réseau répond sur les récepteurs identifiés et uniquement sur ceux-ci.

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.

Comme déjà souligné au paragraphe 1.1, le modèle de réseau de neurones dynamiques a été créé pour apporter des réponses à des besoins différents par rapport aux modèles avec les logiciels de prévision traditionnels. Il n'y a donc pas de réelle concurrence entre les deux modèles, mais plutôt une large possibilité de collaboration synergique. D'une part, le modèle traditionnel pourrait être utile pour vérifier la représentativité des points surveillés du modèle de réseau de neurones. D'autre part, le modèle de réseau de neurones pourrait jouer le rôle de module de prétraitement d'un modèle classique afin de fournir une image spatiale globale du champ acoustique, basée sur l'évolution temporelle des prédictions fournies par le modèle de réseau de neurones.