

PROJET REPORT

“Rumore e Porti”

CUP [D36C18000220006]

Output T2.1

[Modèles de simulation transfrontaliers et scénarios de prévision pour l'évaluation du bruit au port]

Composante [T2 Création de modèles de simulation et de scénarios prédictifs pour l'évaluation du bruit portuaire].

Date de livraison prévue : [01_2021]

Date de livraison effective : [03_2021]

Organisation responsable: [CSTB]

Livello di diffusione		
PU	Public	X
CO	Confidentiel, réservé aux partenaires	

Sommaire

1. Livrable T2.1.1 e T2.1.2: Rapport technique sur le développement du modèle de simulation et de la fonctionnalité "Port" au sein de MithraSIG.....	4
2. Livrable T2.2.1: Rapport d'analyse du régime de mouvement de la composition du trafic et de la surface de la route.	7
PREMISE.....	7
2.1 Analyse acoustique environnementale	8
2.2 Analyse acoustique préliminaire	8
2.3 Enquêtes sur le bruit et la circulation des véhicules	11
3. Livrable T2.2.2: Rapport analyse de régulation du trafic	18
3.1 DÉVELOPPEMENT DU MODÈLE EXPÉRIMENTAL DE PRÉDICTION DU BRUIT	18
3.2 RÉSULTATS DU MODÈLE NEURONAL.....	22
3.3 Résultats de la station phonométrique A - station de mesure du rond-point Sacro Cuore (mars, août 2019).....	24
3.4 CONSIDÉRATIONS SUR LES RÉSULTATS OBTENUS ET CONCLUSIONS.	25
3.5 SECTION II. CONSTRUCTION DU MODÈLE DE TRAFIC À L'AIDE DU LOGICIEL SUMO	29
Préface.....	29
3.6 Le modèle de simulation.....	34
3.7 Résultats du modèle à l'équilibre	35
3.8 Résultats du modèle dynamique.....	36
3.9 ANALYSE DES FLUX DE COURANT	36
3.10 Accidents	40
3.11 Construction de scénarios de trafic avec des systèmes d'info-mobilité	41
PRÉFACE	41
3.12 PANNEAUX À MESSAGES VARIABLES	41
3.13 SCÉNARIOS DE GESTION DU TRAFIC.....	43
3.14 Détecteurs de flux de trafic	45

3.15	Application de la modélisation prédictive par réseaux neuronaux aux données de simulation de trafic avec le logiciel sumo	47
	PREMISE.....	47
3.16	MÉTHODOLOGIE.....	49
3.17	Considérations et comparaisons sur les valeurs estimées par le modèle de réseau neuronal en fonction des scénarios générés par sumo..	55
4.	Livrable T2.3.1 : Rapport analyse des nouveaux systèmes de propulsion .	57
5.	Livrable T2.4.1 : Questionnaire d'enquête	59
6.	Livrable T2.4.2 : Rapport sur l'estimation du cout sociale	59

1. Livrable T2.1.1 e T2.1.2: Rapport technique sur le développement du modèle de simulation et de la fonctionnalité "Port" au sein de MithraSIG

Les ports méditerranéens sont entourés de zones urbaines densément peuplées où le bruit généré par les sources sonores de leur activité a un impact très important. L'objectif à long terme du projet REPORT est la réduction des émissions sonores des ports de l'espace de coopération transfrontalier dans le but de rendre plus durables les installations portuaires de l'Espace Maritime. Ceci est effectué par le développement d'une approche dédiée de la gestion du bruit.

L'activité T2.1 du projet Report, réalisé conjointement par UNIGE et le CSTB vise spécifiquement à définir (tâche T2.1.1) et à implémenter (tâche T2.1.2) un modèle de simulation acoustique spécifique aux zones portuaires, en mettant en avant la modélisation des objets et sources de bruit particulières que l'on peut trouver dans les ports.

La sous-tâche T2.1.1 avait pour objectif d'identifier les adaptations nécessaires pour bien prendre en compte les spécificités des zones portuaires dans le cadre d'une analyse à l'échelle urbaine du bruit, que ce soit dans le cadre de l'établissement d'une cartographie d'exposition des populations à proximité des zones portuaires, d'une étude d'impact lors d'une modification ou d'un nouveau projet, ou encore de l'évaluation de l'effet d'une solution de limitation du bruit. Ces modifications ont vocation à être implémentées au sein d'un outil existant, le logiciel MithraSIG v5, co-développé par le CSTB et l'entreprise Geomod, dédié aux études d'impact acoustiques en extérieur et aux cartes de bruit stratégiques.

Le travail conjoint du CSTB et d'UNIGE a permis d'une part de mettre en évidence les fonctionnalités existantes dans le logiciel MithraSIG applicables au cas du bruit portuaire, comme par exemple la base de données des sources industrielles issue du projet Européen IMAGINE et d'autre part d'identifier les principaux éléments dont l'utilisateur aurait besoin afin de modéliser plus précisément les différentes activités portuaires.

De cette analyse, il a été conclu que l'effort devrait se concentrer en premier lieu sur la modélisation géométrique et acoustique des navires. Eu égard leur taille, les bateaux ne peuvent être assimilés à une source ponctuelle fictive, comme c'est le cas par exemple pour les véhicules routiers ou les avions et qu'une modélisation géométrique plus détaillée est nécessaire afin de bien prendre en compte les effets de réflexion et de diffraction sur la propagation du bruit.

Cette géométrie sert alors à positionner des sources acoustiques équivalentes aux différents équipements générateurs de bruit, comme les moteurs, les orifices de ventilation, les cheminées, les groupes auxiliaires et les autres équipements techniques.

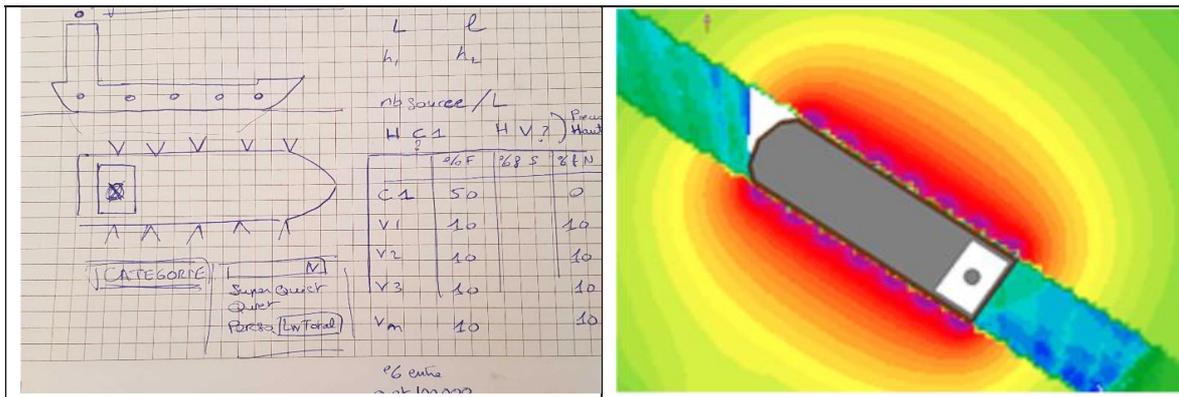
Chaque source élémentaire doit être caractérisée expérimentalement à partir de mesures in situ. Vu la grande diversité des navires que l'on rencontre dans les ports, il semble difficile de proposer des valeurs génériques représentative pour certaines catégories de navires, comme cela est possible pour le trafic routier. La méthode de caractérisation proposée est celle développée par le CSTB dans le cadre du projet Décibel.

Il a été mis en avant que le niveau sonore produit par les différentes sources peut varier dans le temps en fonction des différents modes de fonctionnement, comme par exemple l'entrée dans le port, la mise à quai, le déchargement, le chargement... Il doit être possible de modéliser cette modulation dans le temps, d'une part pour des raisons de validation et de comparaison à des mesures, et d'autre part afin de pondérer la contribution de chaque mode de fonctionnement au niveau sonore équivalent, moyenné sur des périodes plus longues.

Le groupe de travail a retenu qu'au vue de la durée de chaque phase, il convenait dans un premier temp de concentrer les efforts sur la phase de chargement et de déchargement, donc lorsque le navire est à quai.

D'autre part, il a été mis en avant que les conditions météorologiques au bord de la mer puissent être significativement différentes de ce que l'on rencontre sur la terre ferme. En particulier, le régime des vents varie significativement entre le jour (vent de terre) et la nuit (vent de mer) et peut représenter des variations significatives selon la saison (Libeccio ou Sirocco). Ces phénomènes influencent significativement la propagation du bruit à moyenne et grande distance. Une méthode d'analyse fine des phénomènes météorologique a été proposée et testée dans le cadre du projet Décibel et il est désormais possible de les exploiter dans le logiciel MithraSIG.

Figure 1 – Dès premières idées proposées par les experts (à gauche), jusqu'à leur mise en œuvre logicielle (à droite)



Les principes de modélisation des navires ont été testés par le CSTB dans le cadre du projet Décibel. Il s'est avéré que la modélisation manuelle des navires était pertinente en termes de résultats acoustiques et réalisable avec les outils disponibles. Toutefois, une modélisation manuelle s'est avérée peu commode et gourmand en temps. L'objectif fixé pour la tâche T2.1.2 du projet Report a été d'automatiser une telle modélisation et de simplifier la tâche au point de la rendre accessible à l'ensemble des utilisateurs. A notre connaissance, une telle fonctionnalité n'est disponible dans aucun autre logiciel de modélisation acoustique et/ou dans les outils de production des cartes d'exposition conformes aux exigences de la Directive Européenne.

L'intégration de cette nouvelle fonctionnalité dans MithraSIG a été réalisée par la société GEOMOD en tant que sous-traitant du CSTB. Une première version du nouveau logiciel a été livrée aux partenaires du projet en mai 2020. La version finale a été livrée fin 2020. Il est toutefois prévu que le logiciel peut continuer à évoluer, notamment en prenant en compte les observations issues de la tâche T3.1 qui vise à valider les approches méthodologiques produites et leur implémentation sous forme de logiciel.

Le rapport T2.1.2 fournit tous les détails nécessaires à l'utilisation et l'exploitation de cette nouvelle fonctionnalité avec en particulier :

- Une présentation succincte des fonctionnalités du logiciel MithraSIG, y compris les principes de la modélisation et des calculs acoustiques.
- Les aspects méthodologiques de la modélisation acoustiques des principales sources de bruit liées aux activités portuaires.
- La mise à jour du manuel d'utilisation du logiciel MithraSIG, décrivant en détail le fonctionnement du nouveau module portuaire.

2. Livrable T2.2.1: Rapport d'analyse du régime de mouvement de la composition du trafic et de la surface de la route.

PREMISE

Dans la présente étude, comme indiqué dans le rapport T2.2.1, le développement d'un modèle prédictif trafic-bruit pour soutenir un système ITS (cf. Figure **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..1**) d'une infomobilité basée sur des PMV, des APP, des web information et d'autres systèmes qui transmettent des informations à l'usager de la route en relation avec les flux de véhicules mesurés sur le réseau routier en temps réel. L'objectif du système ITS est de réorienter le trafic, en rationalisant les itinéraires, en particulier pour les flux de véhicules qui partent du port et y arrivent, afin de réduire l'impact global généré sur le front de la ville portuaire..

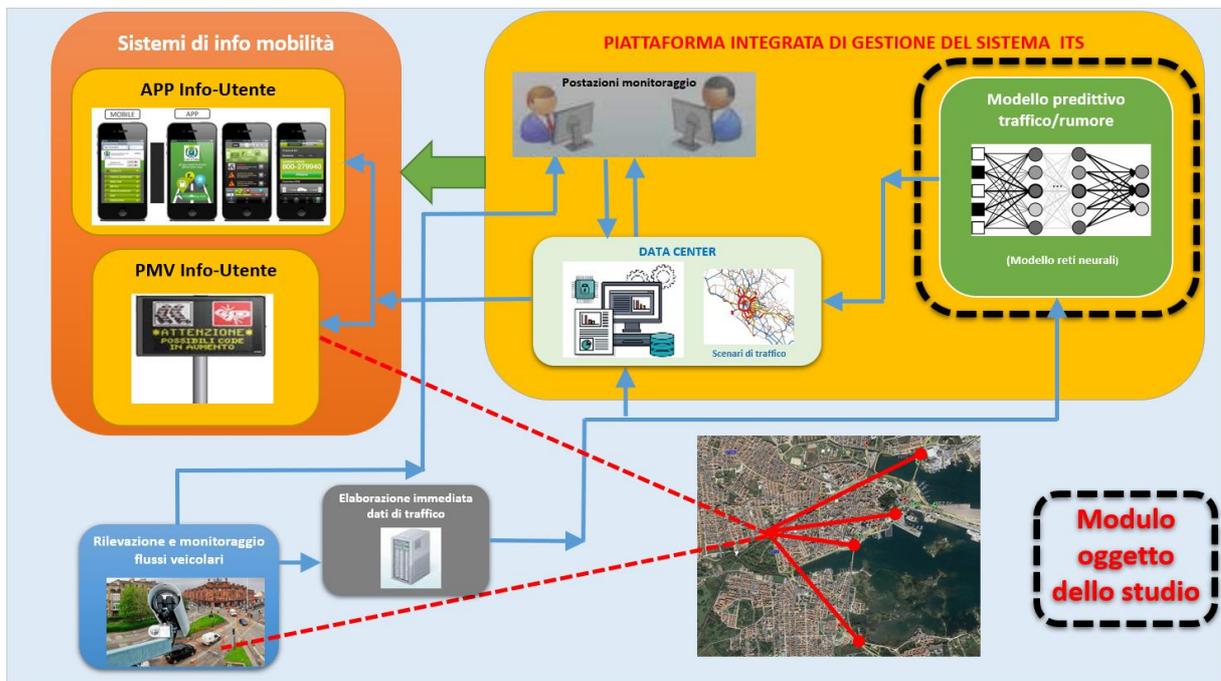


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..1 - SCHÉMATISATION DU SYSTÈME ITS

Dans la première partie de l'étude (produit T2.2.1), les résultats de l'analyse expérimentale des flux de trafic et des émissions sonores effectuée simultanément le long du waterfront de la ville portuaire pilote d'Olbia seront illustrés. Ces données constituent la base d'information fondamentale pour la mise en œuvre du modèle prédictif trafic-bruit qui sera développé dans le produit T2.2.2.

Le modèle qui sera défini au point T2.2.2 a pour objectif d'évaluer les niveaux d'émissions sonores instantanés générés par le trafic, en fonction desquels le système ITS, par le biais de messages d'info-mobilité à l'intention de l'utilisateur, transmis par des panneaux à messages variables (PMV) ou des applications pour appareils mobiles (APP), suggère un comportement

de conduite et de déplacement (par exemple, la réduction de la vitesse), au point d'obliger les utilisateurs à emprunter d'autres routes ou chemins. Ces messages visent à décongestionner les artères principales vers les nœuds portuaires, et donc à réduire les niveaux d'émissions sonores. L'aspect remarquable est qu'une telle surveillance fournira une réponse en temps réel en fonction de la surveillance continue des flux de trafic (boucles inductives, systèmes laser recorder ou caméras vidéo). Le trafic détecté constitue les données d'entrée du modèle de prédiction du bruit du trafic. Le développement du modèle prédictif a été réalisé pour le contexte urbain du waterfront portuaire d'Olbia, avec l'espoir, dans les phases ultérieures de développement du modèle, de l'appliquer également aux réalités portuaires de Piombino Vado Ligure et Bastia..

2.1 Analyse acoustique environnementale

L'analyse acoustique environnementale de la zone portuaire de la ville d'Olbia vise à définir un cadre de connaissance suffisamment exhaustif de tous les éléments qui contribuent à la détermination des scénarios du climat acoustique et de trafic. Cette **analyse propédeutique préliminaire** vise également à identifier les éventuelles criticités pour l'exécution ultérieure du plan de sondage et la construction du modèle acoustique prévisionnel.

Les informations pertinentes pour la description du contexte socio-économique et démographique, du système de transport, du système environnemental, du cadre réglementaire de référence et de la planification territoriale ont été collectées.

2.2 Analyse acoustique préliminaire

2.2.1 Collecte de données préliminaires

Au cours de cette phase préparatoire, la cartographie de base de la zone d'intérêt a d'abord été acquise. Les données cartographiques ont été acquises par le SITR (Système d'Information Territorial Régional) de la Région de Sardaigne, qui se réfère à diverses normes internationales conformes aux principes de partage des données géographiques émis par la Directive INSPIRE pour la création d'une infrastructure communautaire de données spatiales. Les données cartographiques sont accessibles via le portail web Sardegna Geoportale.

Depuis le SITR, il a été possible d'accéder à la DBG (Data Base Geotopografico) et plus particulièrement à la DBMP (Data Base Multiprecisione), à partir de laquelle il a été possible d'acquérir au format SHP (shape file) les sources d'information géoréférencées utiles à la modélisation géométrique pour la caractérisation acoustique de la zone d'intérêt.

Pour la constitution de la base de données géographiques, des données acquises auprès d'autres sources ont également été utilisées pour l'intégration. Pour la

vérification du tracé des routes, par exemple, on a consulté le portail open source Open Street Map, qui permet d'exporter le système routier au format OSM.

En complément de l'analyse documentaire, une enquête directe sur les caractéristiques de l'environnement urbain du front portuaire, sur les activités qui s'y déroulent, sur les spécificités des tronçons routiers (pavage, largeur des voies, sens de circulation, etc...) a été menée.

Le cadre d'information du contexte socio-économique et démographique a été mis en œuvre avec la collecte des données ISTAT relatives à la population résidente au 1er janvier 2019 ainsi que les données du recensement général de la population de l'année 2011 à partir desquelles les tendances historiques des données démographiques peuvent être reconstituées.

En ce qui concerne l'acquisition des données météorologiques sont disponibles les données de la station météorologique de l'Armée de l'Air installée près de l'aéroport Olbia Costa - Smeralda, ainsi que les données des séries historiques de la vitesse du vent et l'humidité relative détectée par les différentes stations météorologiques installées dans le territoire. L'administration municipale dispose également de sa propre unité d'acquisition installée sur le toit du musée archéologique, juste à côté du port, qui fournit des données sur l'humidité relative, la vitesse et la direction du vent, la température et la pression.

2.2.2 Planification urbaine et sectorielle

Afin de vérifier les destinations des zones et la présence de zones de destination spéciales, également en fonction de la vérification de la présence de récepteurs sensibles, le **P.U.C. (Plan Urbain Communal)** en vigueur (Plan de Fabrication) et le Plan Paysage Régional de la Sardaigne ont été consultés (et la cartographie relative a été acquise). (plan d'urbanisme municipal) en vigueur et le plan de paysage régional de la Sardaigne.

La municipalité d'Olbia a élaboré et approuvé par résolution du conseil municipal n. 24 du 08/03/2016 le **Plan de Zonage Acoustique** du territoire communal conformément au D.P.C.M. 14/11/1997. De la consultation des élaborations, il ressort que la zone portuaire destinée au trafic de passagers et le front de mer se trouvent en CLASSE IV - zones d'activité humaine intense, avec des limites d'immission absolues de 65 dB(A) pendant la période diurne et de 55 dB(A) la nuit.

En 2014, la municipalité d'Olbia a adopté le **P.U.M. (plan de mobilité urbaine)** qui représente un outil cognitif important de la réalité urbaine. Dans le plan, une analyse du système de transport actuel et de ses criticités est effectuée, les indicateurs cibles et les valeurs actuelles sont identifiés et des stratégies d'intervention sont planifiées.

2.2.3 Évaluation préliminaire de la zone d'étude, des points de mesure et des sections de route

Afin de mieux comprendre la dynamique du système de transport en relation avec la définition du climat acoustique, nous avons essayé de cadrer la zone urbaine.

A l'échelle du territoire, le réseau routier de la ville est composé de :

- S.S. 125 Orientale Sarda, axe de traversée Sud-Nord du côté de la mer
- Route de contournement qui, à partir de la jonction avec la S.S. 131 d.c.n., longe le côté ouest du centre urbain et rejoint la S.S. 125 au nord.
- S.S. 597/SS729 Sassari-Olbia qui mène à la ville par le sud et rejoint le système de jonctions de l'aéroport.

Les pôles urbains sont essentiellement représentés par le port maritime, la zone industrielle au nord de la ville et l'aéroport Olbia - Costa Smeralda au sud.

Après une première investigation de la dimension urbaine, la zone d'intérêt de cette étude a été ramenée à une échelle compatible avec les objectifs du projet : l'analyse s'est donc concentrée sur la zone affectée par l'escale commerciale et de passagers en correspondance avec le quai d'Isola Bianca, en considérant les tronçons routiers potentiellement affectés par le trafic véhiculaire attribuable à l'activité portuaire (trafic induit).

Pour la campagne de mesure ultérieure du climat acoustique, compte tenu du nombre de chaînes de mesure disponibles, on a d'abord fait l'hypothèse de trois positions de relevé du type "source orientée", positionnées stratégiquement selon les sections de relevé des flux de trafic, visant à caractériser directement l'émission sonore attribuable au trafic automobile. Les points d'enquête choisis sont "des frontières" dans la mesure où l'on a émis l'hypothèse que ce sont les points les plus exposés au bruit de la circulation automobile selon une relation de cause à effet. L'hypothèse a été confirmée par les enquêtes phonométriques préliminaires.

Après la vérification et l'évaluation des priorités dans l'utilisation des ressources, 10 sections de route ont été identifiées pour la surveillance du trafic et les 3 points d'acquisition phonométrique ont été confirmés pour toute la campagne expérimentale.

Id	Localisation	Type d'enquête	Coordonnées
Pos. A	Rond-point Sacro Cuore	Unité de contrôle fixe sur le poteau	4530549.91 N 542697.09 E
Pos. B	Via Principe Umberto en face Municipio	Unité de contrôle fixe sur le poteau	4530339.13 N 542530.94 E
Pos.C	Passage souterrain de l'entrée de la Via Genova	Unité de contrôle fixe sur le poteau	4530164.33 N 542339.46 E

TABEAU 1 LOCALISATION DES SECTIONS - INTERSECTIONS D' ACQUISITION

Une autre vérification préliminaire concernait la sensibilité de toute la chaîne de mesure

à la corrélation entre les fluctuations temporelles des émissions attribuables au trafic et les fluctuations simultanées du climat acoustique. Aux positions de mesure, le niveau de bruit de fond environnemental présente des valeurs acceptables et est suffisamment faible pour ne pas masquer le signal émis par les sources de trafic induites.

Les positions du relevé phonométrique de la campagne de surveillance doivent être fonctionnelles pour la détermination du climat acoustique de l'état des lieux aussi bien en période douce qu'en période de pointe, de plus elles doivent aussi être fonctionnelles pour la mise en œuvre d'un modèle prédictif du climat acoustique pour faire varier la structure des flux de véhicules comme indiqué dans les paragraphes suivants.



FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..2 - POSITIONS DU RELEVÉ PHONOMÉTRIQUE SUR LES ORTHOPHOTOS

2.3 Enquêtes sur le bruit et la circulation des véhicules

Cette section décrit les activités parallèles d'étude du bruit et du trafic dans les conditions "ex-ante" pendant les périodes "douce" et "de pointe" prévues sur la base de l'analyse cognitive préliminaire.

2.3.1 Base de données des enquêtes acoustiques et des flux de trafic (ex-ante) en période douce et en période de pointe

L'ensemble des informations acquises lors des deux campagnes de mesures distinctes a été structuré dans une base de données dans le but de développer une analyse

approfondie du climat acoustique déterminé dans le front portuaire et de la cartographie acoustique de la zone selon les modèles physiques de propagation.

La première campagne d'enquête " ex ante " a été réalisée au mois de mars de l'année 2019, période de l'année identifiée comme " douce " durant laquelle il y a habituellement une activité ordinaire du port de passagers.

La deuxième campagne "ex ante" a été réalisée au mois d'août de la même année qui, au plus fort de la saison touristique, est typiquement une période de "pointe" avec une activité portuaire intense pour les passagers. Les enquêtes ont été réalisées dans les mêmes points d'acquisition et pour les mêmes sections de route que dans la période douce.

2.3.2 Modalités d'exécution des enquêtes phonométriques

Les mesures phonométriques ont été effectuées conformément au décret ministériel 16/03/1998 "Techniques pour la détection et la mesure de la pollution sonore" pour les critères généraux et pour la position des microphones pour la détection du bruit du trafic pour l'intervalle de temps de la mesure. Pour les acquisitions, des instruments de classe 1 ont été utilisés, accompagnés de leurs certificats d'étalonnage valides, comme le prescrit le décret ministériel susmentionné. En particulier, des phonomètres intégrateurs Sound Level Meter 01dB Cube et des microphones pré-polarisés de type 1/2' G.R.A.S. 40CD ont été utilisés.

Tous les relevés phonométriques ont été effectués avec des stations fixes installées à une hauteur de 4 mètres du niveau de la route selon une logique de source orientée (dont les caractéristiques sont décrites dans les directives ISPRA au paragraphe 5.1) et dans des conditions de surveillance afin de noter toute singularité ou anomalie générée par l'activité occasionnelle de sources acoustiques non véhiculaires à proximité des points de mesure.

Pendant les mesures, les valeurs moyennes des grandeurs acoustiques suivantes ont été acquises et stockées sur des supports numériques, avec une base de temps de 100 [ms] : tendance temporelle du niveau de pression acoustique selon les différentes courbes de pondération des fréquences (A,B,C et Linear), avec différentes pondérations temporelles (linéaire et exponentielle avec des constantes de temps Slow, Fast et Impulse).

Les chaînes de mesure du niveau de pression acoustique employaient des données physiques détectées et stockées dans les domaines du temps et de la fréquence. Les données de fréquence ont été stockées dans des bandes normalisées de 1/3 d'octave.

Afin de valider les mesures, les données météorologiques relatives aux intervalles de temps des mesures du bruit environnemental, telles que les valeurs de pluie, l'humidité relative, la direction et la vitesse du vent, et la température, ont été enregistrées par une

station d'acquisition installée près des routes surveillées.¹.

2.3.3 Exécution des enquêtes phonométriques ex ante (période douce)

La campagne de mesure prévue a été réalisée les 25, 26, 27 et 28 mars 2019. Les mesures ont débuté le soir du 25.03.2019 à 20h00 pour toutes les stations jusqu'à 18h00 le 28.03.2019 pour 3 TR de nuit et 3 TR de jour enquêtés.



Position du microphone A Position du microphone B Position du microphone C Position du microphone D

FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..3 - EMPLACEMENTS DE L'ENQUÊTE PHONOMÉTRIQUE EX ANTE CAMPAGNE PÉRIODE DOUCE (MARS 2019)

En plus des positions de relevé "source orientée", pour une plus grande complétude du relevé du climat acoustique, une station phonométrique intérieure a également été ajoutée (position du microphone D). Le set up d'acquisition a été placée en correspondance du récepteur "Municipio" directement face à Via Principe Umberto, tronçon routier soumis au relevé phonométrique et aux flux de circulation.

Un graphique de la tendance du Leq (A) pour une station de mesure est brièvement présenté ci-dessous.

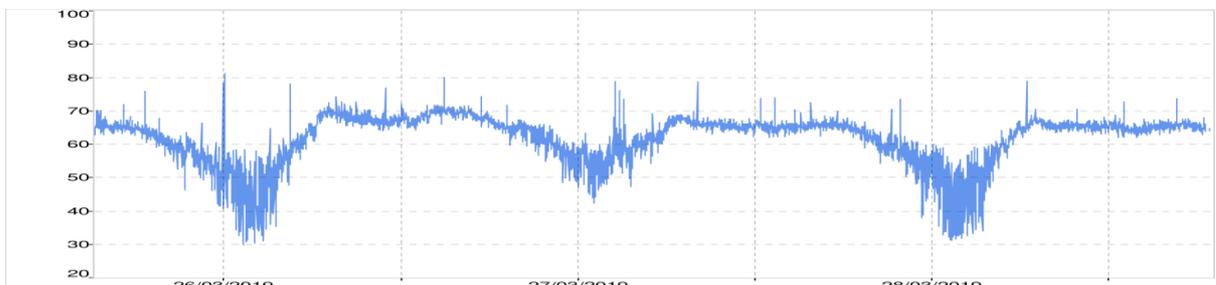


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..4- NIVEAU ÉQUIVALENT LEQ(A) LIEU D'ENQUÊTE B (VIA PRINCIPE UMBERTO)

¹Station de détection installée dans le musée archéologique municipal

2.3.4 Réalisation d'enquêtes phonométriques ex-ante (période de pointe)

La campagne de mesure en période de pointe, étant donné le caractère nettement saisonnier des flux liés à la saison touristique, a été programmée les jours où statistiquement ces dernières années, comme l'indique l'Autorité portuaire d'Olbia, il y a eu les plus grands volumes de trafic de passagers dans le port commercial. Pour l'exécution des enquêtes ont donc été identifiés les jours **23, 24, 25 et 26 août 2019**. Les relevés ont commencé à partir de l'après-midi du 23.08.2019 à 16h00 pour toutes les stations et se sont terminés à 18h00 le 26.08.2019 pour un total de 3 TR de nuit et 3 TR de jour relevés.

Les mesures ont été effectuées dans les mêmes stations fixes engagées dans la période douce, avec les mêmes chaînes de mesure, afin d'évaluer spécifiquement comment la variation des volumes de trafic liés à la zone portuaire affecte le bruit environnemental près du front urbain.



Position du microphone A



Position du microphone B



Position du microphone C

FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..5 - EMBLEMES DE L'ENQUÊTE PHONOMÉTRIQUE PHONOMÉTRIQUE CAMPAGNE EX ANTE PÉRIODE DE POINTE (AOÛT 2019)

Voici un graphique récapitulatif de la tendance du Leq(A) pour un lieu de mesure.

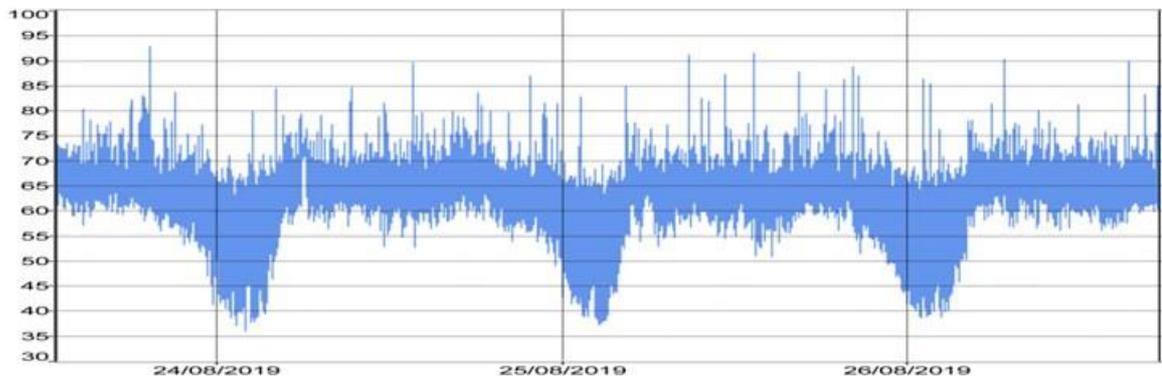


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..6: NIVEAU ÉQUIVALENT LEQ(A) STATION DE MESURE B 24.08.2019 - VIA PRINCIPE UMBERTO

2.3.5 Méthodes de mesure des flux de trafic

Afin d'avoir une image la plus complète possible des flux de trafic, les différentes sections dans lesquelles réaliser les enquêtes ont été identifiées sur la base des critères suivants :

- Sec.1A: détecter les flux entrants dans le rond-point du Sacro Cuore;
- Sec.1B: détecter les flux entrants dans le passage souterrain routier en direction du Sud;
- Sec.1C: détecter les flux sortants dans le passage souterrain routier en direction du Nord;
- Sec.1D: détecter les flux entrants et sortants de la zone portuaire;
- Sec.1E: détecter les flux sortants de la rond-point Sacro Cuore;
- Sec.1F: détecter les flux entrants et sortants de la zone portuaire par le rond-point Sacro Cuore;
- Sec.2A: mesure des flux de trafic dans Via Principe Umberto;
- Sec.3A: mesure des flux de trafic dans Via Genova;
- Sec.3B: mesure des flux de trafic sur la route surélevée S.S.125;
- Sec.3C: mesure des flux de trafic entrants et sortants du passage souterrain routier.



FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..7 - SECTIONS DE L'ENQUÊTE SUR LE FLUX DU TRAFIC

Les activités d'enquête ont été menées en mode vidéo par l'acquisition continue d'images pendant une période de 72 heures. L'équipement permet de surveiller les deux directions en même temps. L'enquête sur les flux de trafic, synchronisée avec les enquêtes acoustiques, a permis de connaître le nombre de véhicules par direction, répartis en 5 classes sur la base de la longueur.

2.3.6 Enquêtes ex ante sur les flux de trafic pendant la période douce

Le rapport d'enquête contient, pour chaque section, le comptage des véhicules divisé par direction et par classe de véhicules, avec une référence à l'intervalle horaire et, en détail, à la minute.

Voici un exemple de graphique à barres de la section 2A de l'enquête avec les contributions distinctes des différentes classes.

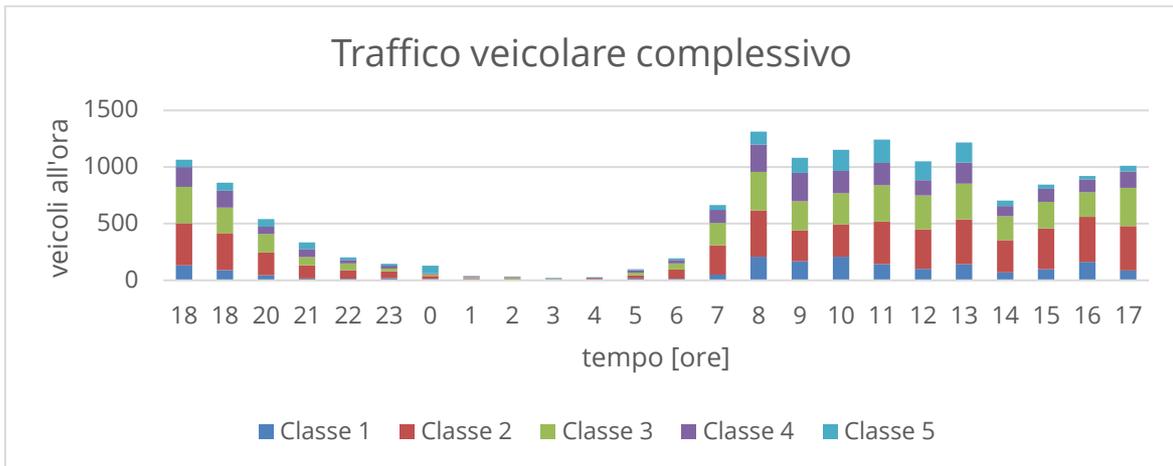


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..8 - GRAPHIQUE GLOBAL CUMULE POUR LES DIFFERENTS TYPES DE VEHICULES, DU 27 AU 28 MARS.

2.3.7 Enquêtes sur les flux de trafic à Ex-Ante en période de pointe

Les enquêtes ont été réalisées sur les mêmes tronçons routiers analysés en période douce en mars 2019 afin d'avoir une image comparative des deux périodes et de la répartition différente des flux dans les créneaux horaires.

Toujours pour cette phase, le rapport d'enquête contient, pour chaque section, le nombre de véhicules répartis par direction et par classe de longueur. Par rapport aux enquêtes de la période douce (pour lesquelles les passages de véhicules étaient enregistrés toutes les minutes), en période de pointe, les passages de véhicules et leur vitesse instantanée étaient enregistrés toutes les secondes.

A titre d'exemple, le graphique à barres de la section d'enquête 2A avec les contributions cumulées des différentes classes est également représenté pour cette période.

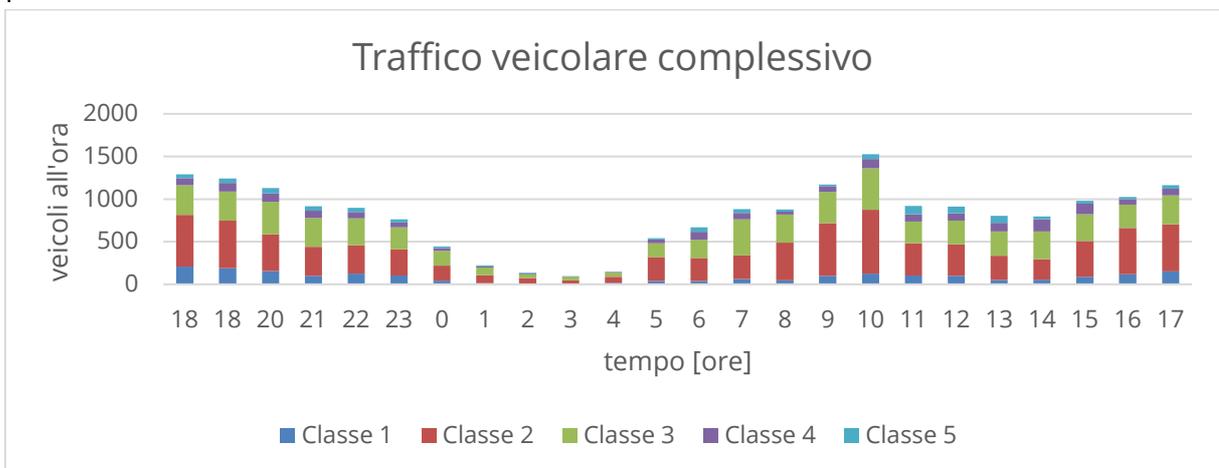


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..9 - GRAPHIQUE CUMULATIF GLOBAL POUR LES DIFFERENTS TYPES DE VEHICULES, DU 24 AU 25 AOUT.

3. Livrable T2.2.2: Rapport analyse de régulation du trafic

3.1 DÉVELOPPEMENT DU MODÈLE EXPÉRIMENTAL DE PRÉDICTION DU BRUIT

3.1.1 Développement d'un modèle prédictif trafic - bruit.

L'un des principaux résultats scientifiques du projet Report est le développement d'un modèle capable de prédire la valeur correcte du niveau de pression acoustique qui serait généré en un point donné en correspondance avec un scénario assigné de composition et de disposition du trafic de véhicules sur les sections de route qui ont été soumises à l'enquête expérimentale.

Le modèle est basé sur les acquisitions de l'événement de bruit, sans nécessairement avoir toutes les réalisations possibles avec lesquelles un tel phénomène peut se manifester. Afin d'atteindre l'objectif de fournir des prédictions correctes sur l'ensemble de l'univers d'intérêt à partir d'une connaissance partielle du phénomène, un système de reconnaissance basé sur l'apprentissage par réseau de neurones a été envisagé (Lecun et al., 2015 ; Schmidhuber, 2015). Nous nous tournons vers un tel système de reconnaissance en raison de sa capacité à généraliser les résultats et donc à associer la réponse correcte également à des signaux d'entrée non (jamais explicitement) envisagés auparavant, ou avec des informations manquantes ou partiellement compromises (Erhan et al., 2014).

Dans la mise en œuvre d'un modèle basé sur un réseau neuronal, on peut généralement identifier les procédures suivantes.

3.1.2 Training procedure

La méthode des réseaux neuronaux est basée sur une phase préliminaire, appelée "training procedure", selon laquelle le réseau est soumis à l'adaptation de ses paramètres internes dans le but d'apprendre un certain nombre de cas qui constituent le training set.

Le training set est individualisé parmi certaines réalisations expérimentales des événements bruyants qui ont été mesurés tout au long de la période de mesure. Au cours de chaquetraining step, la réponse correcte (la valeur physique mesurée de la pression acoustique) est utilisée par l'algorithme interne du réseau neuronal pour adapter itérativement ses paramètres dans le but de réduire l'erreur entre la cible expérimentale et la réponse fournie par le réseau.

3.1.3 Testing procedure

Une fois le training terminée, une deuxième phase doit être réalisée, à savoir la procédure de test "testing procedure". Cette activité permet de vérifier et de quantifier la capacité d'apprentissage atteinte par le réseau lors de la phase de training précédente.

La capacité d'apprentissage est mesurée et évaluée en termes de capacité du réseau, préalablement entraîné, à reconnaître correctement le plus grand nombre de configurations des événements bruyants appartenant à le training set (utilisé pendant la phase d'entraînement) et également en termes de capacité à étendre la reconnaissance correcte également aux cas, appelés test set, qui n'ont pas été envisagés précédemment dans le training set.

3.1.4 Normalizing procedure

L'ensemble des données expérimentales sur les flux de véhicules est préalablement soumis à une normalisation avant d'être fourni en entrée du réseau. La normalisation est une bonne pratique pour éviter que les valeurs maximales et minimales du test set, qui dépassent les valeurs maximales et minimales du training set, ne provoquent la saturation de la fonction de transfert du réseau.

3.1.5 Implementazione con i dati acquisiti

Mise en œuvre avec les données acquises.

Les acquisitions de relevés de trafic et de bruit pendant la période de mesure du 25 au 28 mars et du 23 au 26 août 2019 ont produit des séries temporelles avec une résolution temporelle toutes les 60 secondes..

Dans la phase initiale du développement du modèle, une enquête préliminaire a été menée pour:

- 1) identifier l'architecture et le type de réseau neuronal le mieux adapté à la tâche assignée parmi:
 - a) Pattern recognition problem
 - b) Time series predictions
- 2) identifier le domaine à considérer entre:
 - a) la tendance temporelle de la pression acoustique
 - b) tendance temporelle du spectre de pression acoustique

3.1.6 Stratégie de formation

La phase de formation préliminaire a été structurée par l'adoption de deux stratégies poursuivies alternativement, qui seront désignées par les termes "inter-spaced multiple time spans" et "single time span".

3.1.6.1 Première stratégie de formation (inter-spaced multiple time spans)

La première stratégie consiste à identifier un certain nombre n d'intervalles, régulièrement décalés le long de la *time line*, sélectionnés *ad hoc* pour incorporer globalement la dynamique présentée par l'événement bruyant sur toute la *time line*. Les n intervalles sont utilisés pour former le *training set*, tandis que les instants non inclus sont considérés comme étant incorporés dans le *test set*.

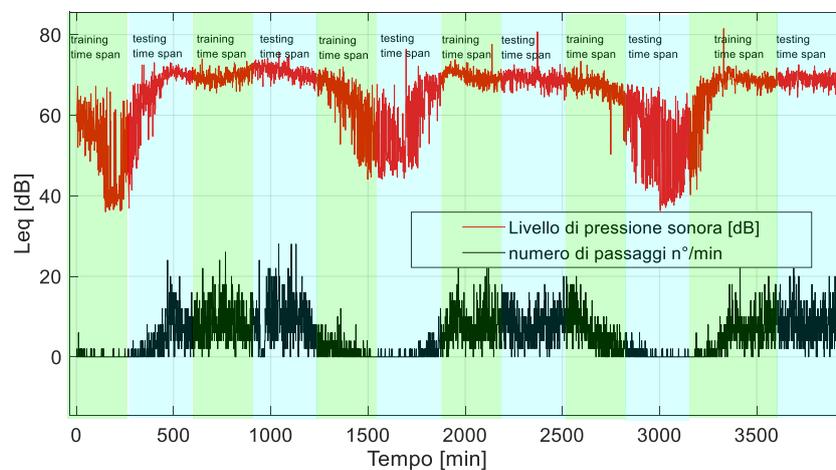


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..10 - TENDANCE DE LA CIRCULATION DES VEHICULES ET DU BRUIT DETECTE. LES PERIODES AUXQUELLES SE REFERENT LES DONNEES PRISES EN COMPTE POUR LE TRAINING SET ET LE TEST SET AVEC LA PREMIERE STRATEGIE "INTER-SPACED MULTIPLE TIME SPANS" SONT MISES EN EVIDENCE"

3.1.6.2 Deuxième stratégie de formation (single time span)

La seconde stratégie, appelée désormais "single time span", repose sur l'identification d'un seul intervalle de temps continu à l'intérieur de la période de mesure, suffisamment étendu pour garantir que les configurations du trafic et du bruit présentent une gamme dynamique suffisamment large. Cet intervalle de temps continu est considéré pour la formation, tandis que les instants exclus de la formation sont considérés pour la deuxième phase de validation-test.

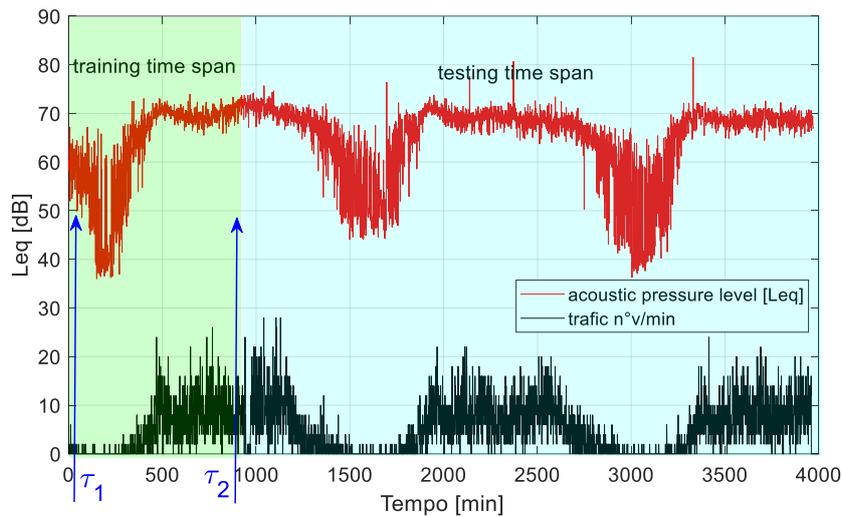


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..11 - TENDANCE DE LA CIRCULATION DES VEHICULES ET DU BRUIT DETECTE. LES PERIODES AUXQUELLES SE RAPPORTENT LES DONNEES CONSIDEREES POUR L'ENSEMBLE D'ENTRAINEMENT ET L'ENSEMBLE DE TEST AVEC LA DEUXIEME STRATEGIE SONT MISES EN EVIDENCE.

Au cours de la phase d'étude, il a été constaté que les résultats de la phase de généralisation, obtenus avec la deuxième stratégie de formation, étaient qualitativement supérieurs à ceux issus de la première stratégie, c'est pourquoi seuls les méthodes et les résultats liés à la deuxième stratégie de formation seront présentés.

3.1.7 Résultats de la généralisation

Une comparaison des quantités suivantes a été effectuée :

- la valeur simulée par le modèle neuronal en réponse à la réalisation générique du trafic qui s'est produite pendant le *i-ème* intervalle
- la valeur expérimentale qui a été mesurée pendant le même *i-ème* intervalle.

L'évolution de l'erreur entre les deux quantités est représentée sur la Figura Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..12.** Comme on peut l'observer, l'erreur reste inférieure à 1 dB sur toute la durée de la mesure par rapport à la phase de test.

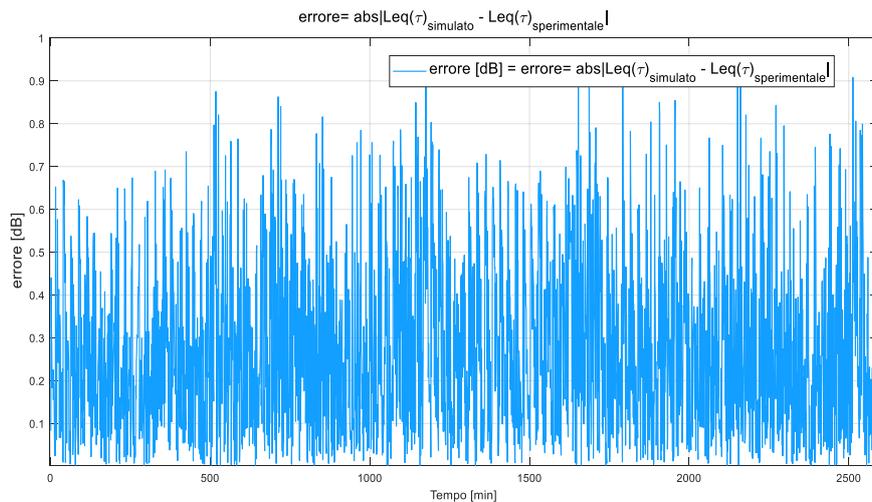


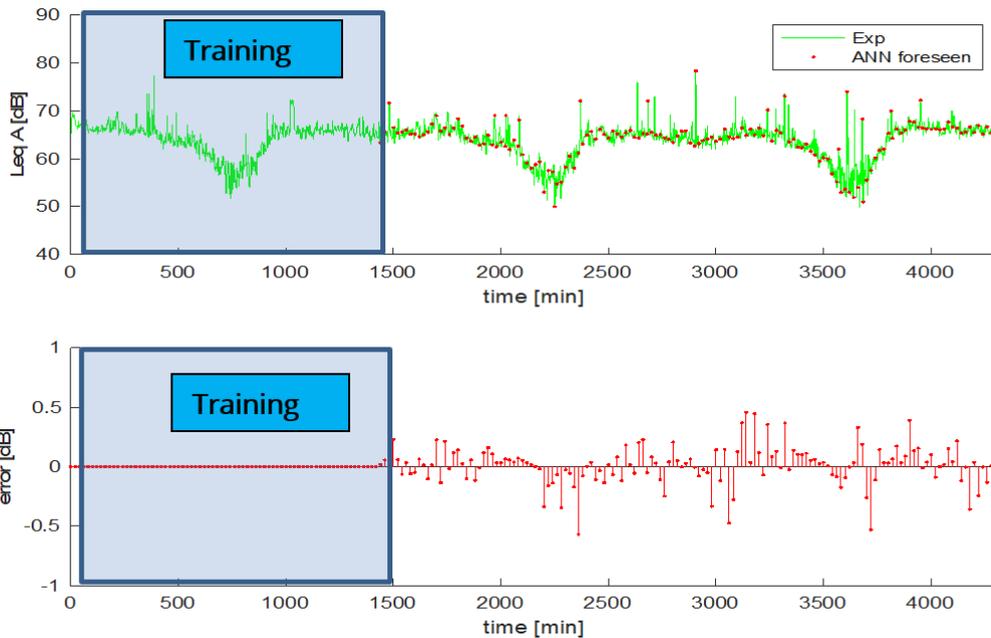
FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..12 - ERREUR PENDANT LA PHASE DE TEST ENTRE LES VALEURS MESUREES ET LES VALEURS SIMULEES PAR LE MODELE.

3.1.8 Analyse de la variabilité du flux de trafic

Au préalable, une enquête, encore en phase d'affinement, de nature statistique a été menée pour donner une métrique de l'amplitude de la dynamique des réalisations du flux de véhicules pendant la période de test. Cette enquête vise à tester si le réseau généralise ou non les résultats sur une database d'input dont la variabilité est importante. Une grande variabilité implique que le réseau a été capable d'apprendre sur une data base « difficile » et importante avec une dynamique élevée.

3.2 RÉSULTATS DU MODÈLE NEURONAL

Dans cette section, nous présentons les résultats obtenus dans la phase de simulation du modèle neuronal, une fois la procédure de formation terminée. Cette procédure est basée sur la stratégie de *training*, identifiée dans la section précédente avec la dénomination "*single time span*", en utilisant les données expérimentales des périodes de référence relatives à chaque station de mesure. Les résultats à présenter sont divisés en deux périodes distinctes, l'une relative à la période douce des jours de mars 2019 et l'autre relative à la période de pointe des jours d'août 2019.



Les Figure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..13**
 etFigure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..14** ci-
 dessous montrent les comparaisons entre les évolutions temporelles du niveau de
 pression acoustique mesuré expérimentalement et celui prédit par le modèle
 neuronal dans la phase de simulation. En même temps, chaque graphique montre
 également l'erreur absolue entre les deux tendances. Pour faciliter la lecture des
 graphiques, une version des courbes a été rapportée avec une résolution de 1
 valeur tous les 20 échantillons. Il est précisé que les résultats obtenus en termes
 d'adhérence des valeurs prédites aux valeurs expérimentales sont valables et
 extensibles pour toutes les valeurs de la ligne de temps et pas seulement pour
 celles qui sont visualisées dans les figures. Par conséquent, l'ordre de grandeur de
 l'erreur dans les points non affichés est au plus du même ordre que l'erreur dans
 ceux qui apparaissent graphiquement dans la ligne de temps. Cependant, afin de
 pouvoir démontrer la capacité du réseau neuronal à présenter également la
 dynamique de la réponse aux pics de courte durée, les valeurs de niveau dans les
 minutes au cours desquelles des augmentations soudaines du niveau de pression
 acoustique se sont produites ont également été rapportées.

Afin d'optimiser et d'améliorer les résultats du processus d'entraînement, une
 campagne d'entraînement progressive a été développée, grâce à laquelle il a été
 possible de déterminer la *sensibilité* et la robustesse du modèle aux données
 d'entrée fournies par les différentes sections de route de la campagne de mesure.
 Il en ressort que les données relatives aux flux de trafic détectés dans les sections
 susmentionnées permettent de mettre en œuvre le modèle ANN qui présente les

meilleures performances en termes de précision et de *matching* par rapport aux données expérimentales. En d'autres termes, un processus de formation a été élaboré par étapes. Initialement, le réseau est entraîné avec les données d'input du flux de véhicules provenant du potentiel complet d'informations intégrées dans les sections de route qui ont été surveillées. Les résultats de l'entraînement sont comparés à ceux obtenus en réduisant les données d'input, car la section de route la plus éloignée est exclue de le set d'entraînement. Si les résultats obtenus avec le data set réduit ne s'aggravent pas ou ne s'améliorent pas, l'éviction est définitive et le set de formation résultant est à nouveau soumis à la réduction et à la comparaison. Cette procédure a permis d'identifier un data set canonique formé par un nombre minimum de sections de route représentant les sources spécifiques qui déterminent les fluctuations du climat acoustique, à proximité de chaque emplacement de mesure phonométrique. Cette procédure a été appliquée tant pour la période diurne que pour la période nocturne afin d'éviter la probabilité qu'un tronçon routier donné soit exclu à tort parce qu'il a résulté une faible corrélation ou une redondance avec le climat acoustique d'un endroit donné, simplement en raison des conditions de trafic contingentes auxquelles le tronçon particulier a été soumis pendant un segment temporel particulier.

3.3 Résultats de la station phonométrique A - station de mesure du rond-point Sacro Cuore (mars, août 2019)

A titre d'exemple, les résultats relatifs à la position phonométrique A sont présentés de manière synthétique. Pour rendre plus efficace l'apprentissage du réseau neuronal qui estime la réponse détectable, nous avons considéré le set optimisé suivant des sections de l'étude de trafic qui donne la meilleure contribution aux performances en phase de formation et de généralisation, c'est-à-dire les sections 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F..

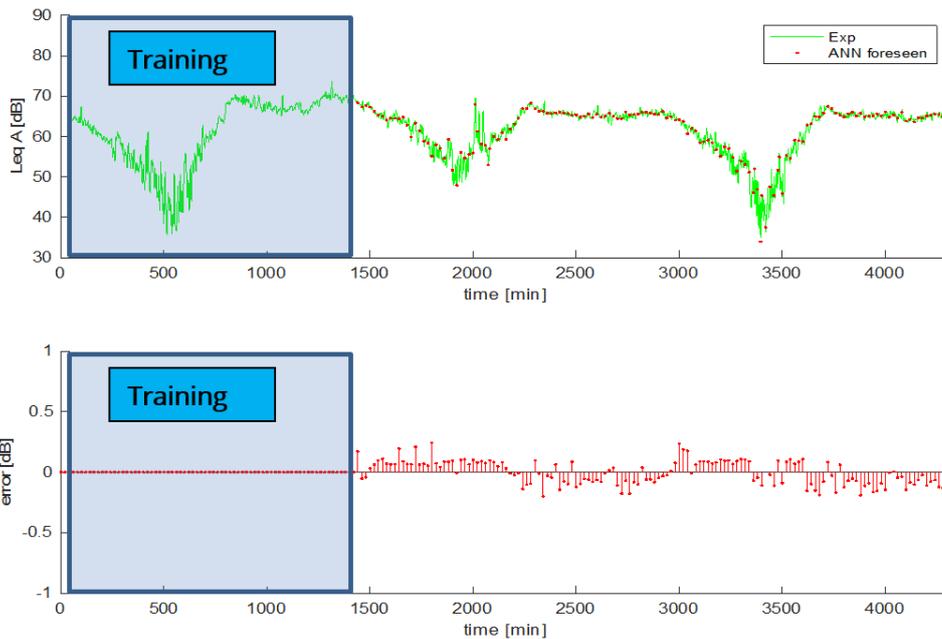


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..13 - LeqA ACQUIS EXPERIMENTALEMENT (VERT) ET PREDIT PAR ANN (POINTS ROUGES), EN HAUT. DIFFERENCE ENTRE LES VALEURS CALCULEES ET EXPERIMENTALES, EN BAS. STATION A PERIODE DOUCE 25-28 MARS 2019.

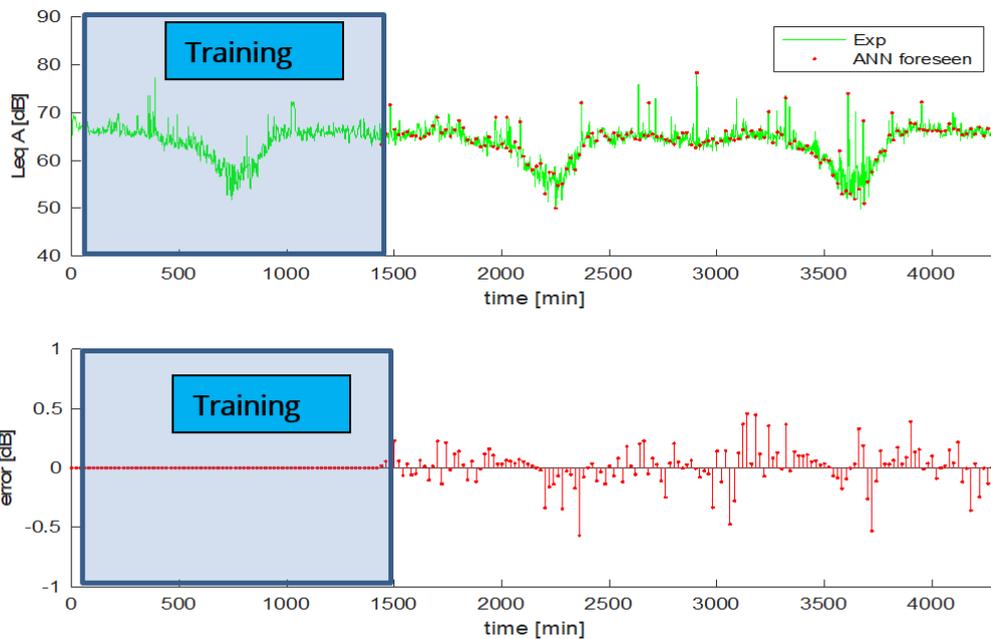


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..14 - LeqA ACQUIS EXPERIMENTALEMENT (VERT) ET PREDIT PAR ANN (POINTS ROUGES), EN HAUT. DIFFERENCE ENTRE LES VALEURS CALCULEES ET EXPERIMENTALES, EN BAS. STATION A PERIODE DE POINTE 23-26 AOUT

3.4 CONSIDÉRATIONS SUR LES RÉSULTATS OBTENUS ET CONCLUSIONS

Le modèle de trafic présente une très bonne capacité de prédiction du climat

acoustique généré par le trafic de véhicules aux trois stations de niveau sonore. L'entraînement du modèle neuronal a été basé sur un segment de temps constitué des 1400 premières minutes, tandis que les 2600 minutes restantes ont été exclues de la procédure d'entraînement et ont donc été réservées à la vérification des performances du réseau dans la phase de généralisation. Cette phase de généralisation permet de vérifier si le réseau est capable de fournir des valeurs correctes des niveaux de bruit uniquement lorsqu'il reçoit des configurations de trafic "déjà vues" ou s'il est capable d'étendre sa capacité également à de nouveaux scénarios de trafic.

Comme on peut l'observer pour les trois sites, le modèle présente une excellente capacité de généralisation pendant toutes les périodes de référence de jour, de soirée et de nuit. L'erreur absolue est toujours bien inférieure à la valeur de 1 décibel pour toute la "time line" de la campagne de mesure. En particulier, en ce qui concerne la station de mesure en position A, pour laquelle les résultats ont été rapportés à titre d'exemple, il est possible de résumer les résultats suivants:

Période douce (Figure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..13**):

- **segment de temps de la phase d'apprentissage:** l'écart entre les données expérimentales et les valeurs simulées est pratiquement nul.
- **segment temporel de la phase de test-généralisation:** l'écart entre les données expérimentales et les valeurs simulées est partout inférieur à un demi-décibel.

Période de pointe (Figure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..14**):

- **segment de temps de la phase d'entraînement:** l'écart entre les données expérimentales et les valeurs simulées est pratiquement nul.
- **segment temporel de la phase de test-généralisation:** l'écart entre les données expérimentales et les valeurs simulées est partout inférieur à un demi-décibel, sauf à deux reprises où il est légèrement supérieur à un demi-décibel.

Bien que les résultats fournis par le modèle soient respectés de manière satisfaisante pour les trois sites et pour les périodes douces et de pointe, il convient de noter une légère dégradation des performances du modèle dans sa capacité à prédire les tendances des périodes de pointe à tous les sites. Cet aspect était prévisible et peut être raisonnablement expliqué par une augmentation

significative de l'activité anthropique pendant la période de pointe du mois d'août. Dans la ville en général, mais surtout dans les rues du front de mer, les activités de plein air prolifèrent avec un flux intense de piétons qui se poursuit jusque dans la nuit. Par conséquent, le bruit de la circulation des véhicules se superpose inévitablement aux effets de ces sources de bruit. Les considérations précédentes sont confirmées par le fait que la dégradation des performances se produit précisément aux "points de selle" de la période nocturne, lorsque les touristes se promènent, fréquentent les magasins et profitent des services et des attractions de la ville. Toutefois, il convient de noter que la dégradation des performances est vraiment marginale par rapport à la quantité de perturbations générées par les activités anthropiques non imputables au trafic. Cet aspect confirme la capacité du modèle à reconnaître, dans une certaine mesure, le bruit de fond environnemental auquel se superpose le bruit de la circulation automobile.

En effet, dans les différentes conditions environnementales, trafic et bruit de fond (toujours de nature anthropique mais non attribuable à la circulation des véhicules), pour toutes les stations phonométriques et dans les deux conditions (douce et de pointe), le modèle a pu prédire des valeurs de $L_{eq,A}$ adhérant aux valeurs mesurées expérimentalement, aussi bien lorsque le signal acquis était quasi-stationnaire que dans des conditions de forte variabilité. La nature des sources acoustiques à proximité des stations de mesure est la plus variée : dans l'une d'elles, on trouve principalement des véhicules se déplaçant à une vitesse élevée et constante ; dans l'autre, des véhicules à faible vitesse et en manœuvre, souvent dans des conditions de trafic congestionné ; enfin, dans la troisième, en plus des conditions de trafic automobile erratique, on trouve également des sources dues aux activités de travail sur la place adjacente à la mairie, ainsi qu'aux activités de restauration, de loisirs et commerciales à proximité de la station.

Un modèle trafic-bruit a été mis en œuvre pour le front du port d'Olbia, montrant les performances que nous avons décrites. Actuellement, des modèles similaires formés avec des données acquises dans les autres villes partenaires du projet sont mis en œuvre. Une comparaison entre les performances des différents modèles mis en œuvre pour les différentes villes fera l'objet d'une évaluation, visant notamment à déterminer quels éléments peuvent définir et caractériser une méthodologie générale de mise en œuvre dans différents contextes. Un approfondissement de la recherche comprendra la mise en œuvre du modèle de prévision également dans le domaine des fréquences, par l'apprentissage de la reconnaissance spectrale. Cette étape supplémentaire permet de déterminer les composantes spectrales du bruit qui sont les plus impliquées dans le processus de

modélisation de la cause-effet du phénomène trafic-bruit. Une autre étape de la recherche consiste à comparer le modèle d'apprentissage neuronal avec les modèles dits physiques qui ont maintenant atteint la maturité commerciale et qui intègrent les lois de la propagation acoustique dans un espace dont les conditions limites sont fixées par la géométrie de l'orographie du territoire et du bâti et par les propriétés acoustiques des matériaux en présence. Évidemment, pour le modèle physique de la propagation, ces informations sont indispensables pour une modélisation correcte du phénomène trafic - climat acoustique. Bien que cela ne soit pas indispensable, le modèle neuronal pourrait également être complété par de telles informations dans le but d'accroître sa robustesse. La recherche développée jusqu'à présent suggère de nombreuses implications et développements, qui méritent d'être poursuivis. En fait, les résultats de cette première phase sont très réconfortants et révèlent une bonne base sur laquelle développer des études ultérieures.

3.5 SECTION II. CONSTRUCTION DU MODÈLE DE TRAFIC À L'AIDE DU LOGICIEL SUMO

Préface

Cette section définit le processus méthodologique et les résultats obtenus de la construction du modèle de trafic développé avec le logiciel SUMO dans le réseau routier de la ville d'Olbia et en particulier pour la simulation de l'état actuel du trafic sur le waterfront du port pendant les périodes douces et de pointe. Le modèle, une fois calibré, permettra, par rapport à des scénarios hypothétiques de trafic déterminés aux heures de pointe d'embarquement et de débarquement des navires de passagers dans le port d'Olbia, d'évaluer les flux de trafic (dans ses composantes caractéristiques) sur les différents tronçons du réseau routier. Ces flux constitueront les données d'input du modèle prédictif de bruit du trafic développé avec des réseaux neuronaux. L'étude illustrée dans cette section portait sur

1. l'analyse des flux de mobilité actuels, par le biais d'une enquête de sections et d'intersections de routes;
2. la construction du modèle de simulation de trafic basé sur les données d'enquête de l'état actuel dans les périodes de pointe et les périodes douces de 2019.

3.5.1 ENQUÊTES SUR LA CIRCULATION DES VÉHICULES

Pour l'analyse des flux de véhicules dans la zone étudiée, 15 sections d'enquête et 8 intersections ont été installées, dont les emplacements sont indiqués dans la Figure Erreur. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..15**

Le Tableau Erreur. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..2** fournit des détails sur l'emplacement des stations d'enquête.

ID	Localisation
Sec. 1	Via Banchina Isola Bianca_ direction Centre d'Olbia
Sec. 1'	Via Banchina Isola Bianca_ direction Port
Sec. 2	Viale Isola Bianca
Sec. 3	SS 125
Sec. 4	Circonvallazione 3 Olbia
Sec. 5	SS 131 DCN Accès sud_Direction nord
Sec. 5'	SS 131 DCN Accès sud_ Direction sud

Sec. 6	SS 597 Logudoro
Sec. 7	SS 127 Settentrionale Sarda
Sec. 8	Circonvallazione 1 Olbia
Sec. 9	SS 125 Accès Nord
Sec. 10	Viale Principe Umberto
Sec. 11	Via. Poltu Ezzu
Sec. 12	E840 Accès Olbia
Sec. 13	Via. Poltu Ezzu
Inters. 1	Viale Principe Umberto-SS 125 - Via Isola di Mezzo
Inters. 2	Viale Principe Umberto- Via Genova- Via Poltu Ezzu
Inters. 3	Via Redipuglia- Via Roma-v. Iglesias
Inters. 4	SS 127 nord-SS 127 sud- Via Venafiorita
Inters. 5	Via D' Annunzio- Via dei Lidi
Inters. 6	Passage à niveau Via D' Annunzio- Via Aldo Moro- Via Nanni
Inters. 7	Passage à niveau Corso Umberto I- Via S. Sepolcro - Corso V. Veneto- Via Mameli
Inters. 8	Via Re di Puglia- Via Regina Elena- Via Nuoro

TABLEAU ERREUR. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..2 - LOCALISATION DES SECTIONS - INTERSECTIONS D'ENQUETE



FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..15--
LOCALISATION DES SECTIONS - INTERSECTIONS D'ENQUETE

Dans les sections, les flux de trafic ont été réalisés sur un intervalle de 24 heures, tandis que dans les intersections, on s'est référé aux manœuvres détectées aux heures de pointe du matin et du soir (7h30-9h00, 17h30-19h00). L'analyse a été menée en divisant les véhicules en trois catégories:

- les véhicules légers;
- les véhicules lourds;
- motocyclettes.

3.5.2 Période d'automne

La Figure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..16** représente graphiquement le TMG de chaque section, divisé par type de véhicule.

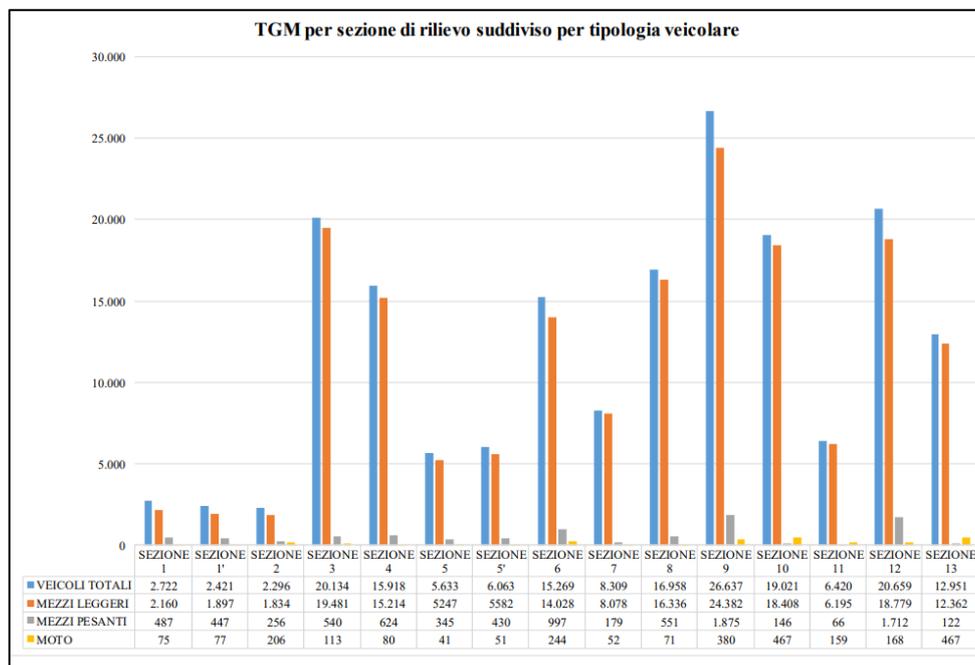


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..16 - TGM DES SECTIONS_PERIODE AUTOMNALE

3.5.3 Période estivale

Le graphique de la Figure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..17** è montre la tendance du TGM pour chaque section de l'enquête et en référence aux trois types de véhicules.

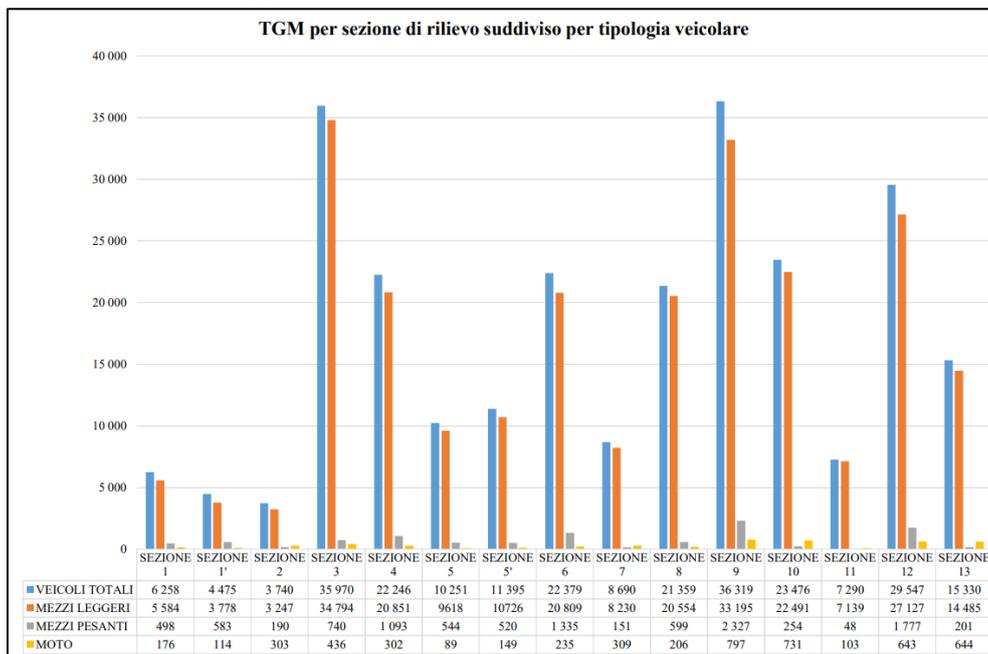


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..17 - TGM DES SECTIONS_PERIODE ESTIVALE

3.5.4 Enquêtes sur les sections

Pendant la période d'automne, 181 411 véhicules/jour ont été contrôlés, soit 29 % de moins que pendant la période d'été (258 725 véhicules/jour). Cette diminution est plus prononcée dans les sections 1-1', où elle atteint 52%. Dans les sections 3 et 5-5', on constate une diminution de 44÷46% ; dans la section 2, le pourcentage de véhicules/j contrôlés pendant la période d'automne est inférieur de 39% à celui de la période d'été, tandis que dans les sections 4, 6 et 12, la diminution est de 29%. Dans les autres sections, la diminution est inférieure à 29%, la valeur la plus faible étant celle de la section 11 (-12%). La section 9 est celle où le nombre de véhicules détectés est le plus élevé dans les deux périodes d'analyse (14%). Le nombre le plus faible de véhicules passant par les périodes d'automne et d'été se trouve dans la section 2, où le pourcentage de véhicules détectés par rapport à la valeur totale est légèrement supérieur à 1%. La Figure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..18** illustre graphiquement la comparaison entre les deux périodes d'analyse.

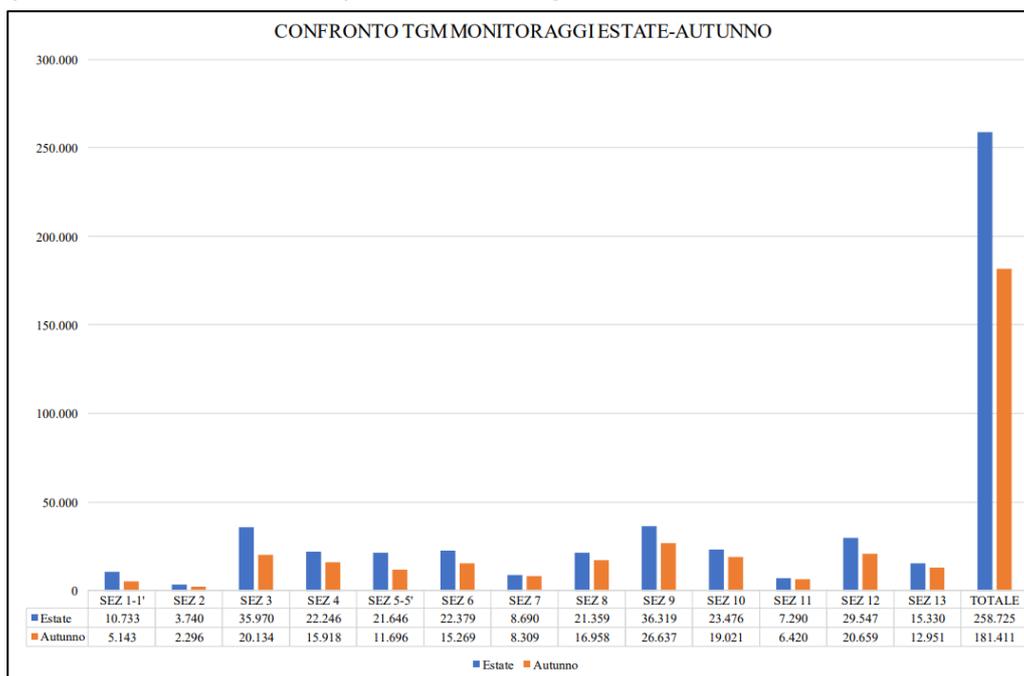


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..18 - COMPARAISON ETE-AUTOMNE DES 13 SECTIONS DE SURVEILLANCE

I due periodi di riferimento presentano andamenti simili, con due picchi corrispondenti alle ore di punta. Mentre nel periodo estivo l'ora di punta del mattino si riscontra nella fascia oraria compresa tra le 9:00 e le 10:00 con 17.452 vei/h, nel periodo autunnale questa si verifica nella fascia oraria che va dalle 8:00

alle 9:00 con un valore pari a 16.536 vei/h (-6%). Per quanto riguarda l'ora di punta serale, nel periodo estivo questa si verifica nella fascia oraria compresa tra le 18:00 e le 19:00 con 18.627 vei/h mentre in autunno essa si individua in un arco di tempo di due ore , dalle 17:00 alle 19:00 con circa 14.300 vei/h (-23%).

3.5.5 Enquêtes sur les intersections

La surveillance du flux de véhicules aux 8 intersections étudiées a été effectuée pendant deux périodes distinctes :

- 7:30- 9:00
- 17:30- 19:00

Dans la tranche horaire du matin, un total de 18 309 véhicules a été compté pendant la période estivale et 18 859 pendant l'automne, soit une différence de 3%. Aux heures du soir, il y avait 19 980 véhicules en transit pendant la période estivale et 20 809 pendant la période automnale, soit une différence de 4 %.4%.

3.6 Le modèle de simulation

Une fois le zonage de la zone d'étude effectué, les arcs représentatifs des infrastructures routières les plus importantes ont été construits, en associant à chacun d'eux des informations sur les principales caractéristiques et, par la suite, la matrice Origine/Destination² a été élaborée. Le graphique du réseau a ensuite été chargé dans le logiciel de simulation de système de trafic SUMO (package NetEdit). Les intervalles de temps sur lesquels l'analyse a été développée étaient, pour les périodes d'été et d'automne, les suivants :

- Matin : 7h30-9h00
- Soirée : 17h30-19h00

Une fois la matrice O/D construite, elle a été corrigée sur la base des flux détectés, à l'aide du package Marouter, qui effectue une **affectation à l'équilibre** stochastique de manière itérative. L'affectation stochastique des charges du réseau, effectuée à chaque itération, est basée sur un modèle logit modifié (proposé par Lohse). Marouter fournit en output le fichier - olbia.netload.xml qui contient les flux, les temps de parcours moyens et le degré de saturation de chaque arc du graphe, ainsi que le fichier avec l'extension olbia.routemarouter.xml qui rapporte toutes les routes utilisées pour rejoindre chaque paire O/D des arcs couverts par chaque route. Une fois la matrice O/D corrigée, les flux obtenus par l'affectation d'équilibre ont été utilisés pour calculer le niveau de service de chaque arc routier, en analysant les retards et les flux de transit. Enfin, une **affectation**

² Élaboration basée sur les données de la matrice ISTAT O/D 2011

dynamique a été réalisée, en utilisant le paquet Duaiterate pour simuler les interactions directes entre les véhicules dans le réseau d'Olbia et leur variation, avec la modification conséquente des niveaux de service du réseau routier, en fonction du temps..

3.7 Résultats du modèle à l'équilibre

Pour l'analyse des résultats obtenus à partir de l'affectation à l'équilibre, on a fixé la valeur de la vitesse moyenne horaire de 10 km/h comme seuil d'identification des conditions de congestion du trafic. Les flux de trafic exprimés en véhicules/heure aux heures de pointe du matin et du soir se rapportant à la période estivale et hivernale ont été obtenus.

La Figure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..19** met en évidence les arcs affectés par la congestion, en les différenciant sur la base de la période au cours de laquelle le phénomène se produit. Le Tableau Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..3**, quant à lui, fournit des données macroéconomiques sur les simulations effectuées, indiquant le pourcentage d'arcs dans lesquels la limite de capacité est dépassée, entraînant une congestion, et la valeur moyenne du rapport débit/capacité (*saturation*) de ces mêmes arcs.

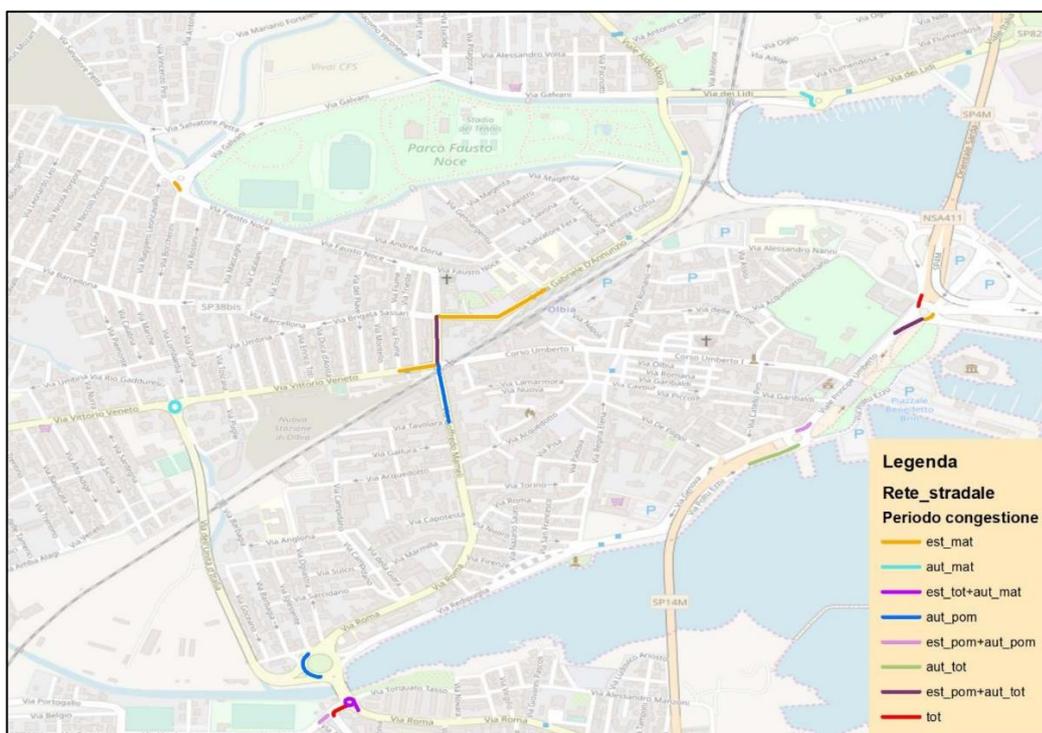


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..19 - ARCHES CONGESTIONNÉES

Simulazione	Percentuale archi con superamento del limite di capacità	Rapporto flusso/capacità medio
Estate mattina	16%	55%
Estate pomeriggio	9,4%	59%
Autunno mattina	8,5%	56%
Autunno pomeriggio	9,9%	59%

TABLEAU ERREUR. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..3 - MACRO CARACTERISTIQUES DES SIMULATIONS

3.8 Résultats du modèle dynamique

L'affectation dynamique intra-période a été réalisée à l'aide du logiciel Duaiterate. L'algorithme de routage utilisé par défaut dans Dualterate est l'algorithme de Gawron : chaque véhicule est affecté à l'itinéraire le moins coûteux, mais celui-ci est mis à jour de manière itérative en fonction des conditions de circulation. 1 000 itérations ont été effectuées pour chaque simulation. Cela a permis d'obtenir un scénario final de simulation dynamique bien défini, avec des files d'attente et des ralentissements très similaires à ceux obtenus par le modèle à l'équilibre. Pour vérifier la similitude entre les deux simulations, une comparaison a été faite entre les deux vecteurs obtenus à partir de l'affectation d'équilibre probabiliste, **feq** (paquet Marouter) et de l'affectation dynamique, **fdin** (paquet Duaiterate). À cette fin, les deux indices RMSE% et DIFFP ci-dessous ont été utilisés:

$$RMSE\% = \left[\frac{\frac{1}{n_a} \cdot \sum_{i=1}^{n_a} (f_{eq,i} - f_{din,i})^2}{\frac{1}{n_a} \cdot \sum_{i=1}^{n_a} f_{din,i}} \right] \cdot 100$$

$$DIFFP\% = \left[\sum_{i=1}^{n_a} \frac{|f_{eq,i} - f_{din,i}|}{f_{din,i}} \cdot \frac{f_{din,i}}{S} \right] \cdot 100$$

Où:

$f_{eq,i}$ = flusso flux sur le i-ème arc obtenu par affectation d'équilibre

$f_{din,i}$ = flux sur le i-ème arc obtenu par affectation dynamique

n_a = nombre d'arcs du réseau

$$S = \sum_{i=1}^{n_a} f_{din,i}$$

Les élaborations effectuées aboutissent aux valeurs suivantes pour les indices RMSE% et DIFFP% : RMSE% = 10,45% **DIFFP% = 6,41%**.

Ce résultat, surtout en ce qui concerne l'indice DIFFP, qui pondère chaque déviation sur la quantité de flux passant réellement par l'arc, indique comment les deux modèles (d'équilibre et dynamique) sont parfaitement alignés.

3.9 ANALYSE DES FLUX DE COURANT

La présente analyse des flux est fonction des scénarios alternatifs possibles de réorganisation du trafic à partir des évaluations faites précédemment et en considérant l'invariance des dimensions des infrastructures routières d'accès/de sortie du Port. Sur la base de ces considérations, les points critiques du réseau ont été identifiés par la modélisation de l'état actuel avec le logiciel SUMO et représentés dans la Figure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..20.**

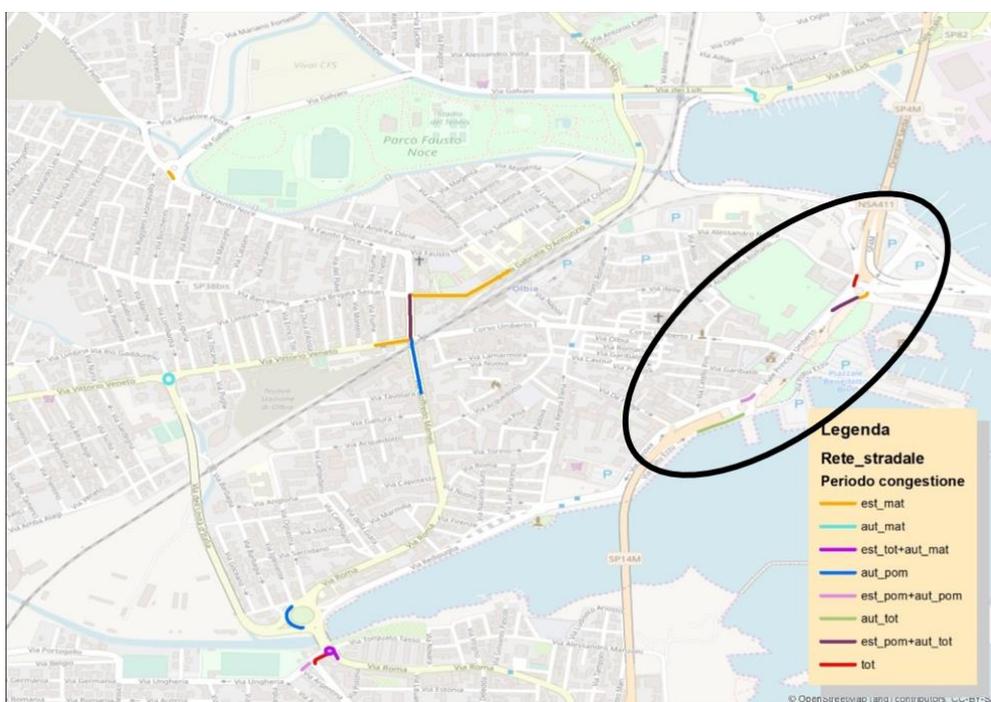


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..20 - LES ZONES LES PLUS ENCOMBRES

Cette figure montre que la plus grande congestion se produit sur le réseau routier interne et sur la route d'accès au port depuis la zone sud (voir encadré noir sur la figure).

Pour vérifier davantage les points critiques du réseau routier, à partir des relevés effectués et illustrés dans les paragraphes précédents, les flux ont été extraits sur les différentes sections du réseau routier d'intérêt et en particulier sur la route du waterfront du port.

En prenant comme référence les sections 05 et 03, la quantité et le type de flux bidirectionnels d'accès/de sortie de l'arrière-pays sud et du nord d'Olbia ont été

vérifiés.

Section	Type de trafic	Période			
		Été: 8-9	Été: 18-19	Automne: 8-9	Automne: 18-19
05	Léger	1.488	1.703	814	855
	Lourd	73	61	78	45
	Motos	15	20	0	3
03	Léger	1.988	2.429	1.235	1.667
	Lourd	71	31	65	17
	Motos	17	33	8	7

TABEUA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..4 - FLUX DETECTES DANS LES DEUX SECTIONS D'ACCES/DE SORTIE LES PLUS SIGNIFICATIVES DE LA ZONE URBAINE D'OLBIA.

De l'analyse des flux du Tableau Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..4** il ressort que les flux de véhicules légers provenant du nord sont environ 33% plus élevés que les flux provenant du côté sud, tandis que les flux de véhicules lourds sont généralement plus élevés que ceux provenant du sud.

L'analyse des élaborations avec le modèle de simulation du trafic a permis de détecter la possibilité d'une congestion le long de la route d'accès au port, étant donné que les flux en provenance du nord voient la confluence d'un minimum de transits à partir de Viale Italia/SP82, tandis que les flux en provenance du sud voient la confluence des flux en provenance de Sassari et, sur le chemin du port, les flux de la zone sud provenant de la SS125.

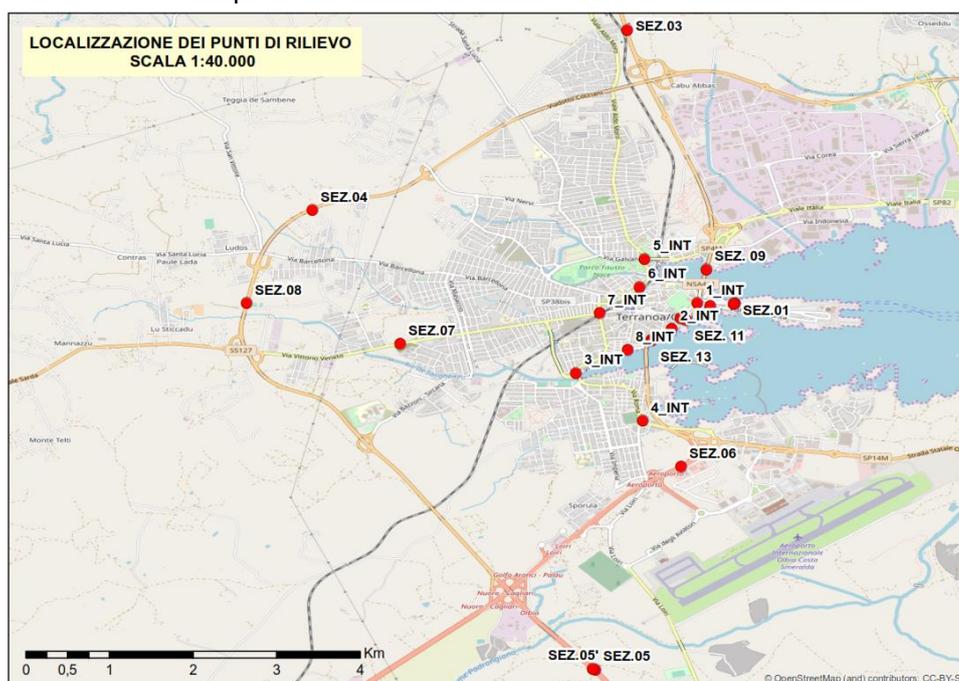


FIGURE ERREUR. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..21: POINTS DE CONTROLE DU TRAFIC SUR LE RESEAU ROUTIER FONDAMENTAL D'OLBIA

Afin d'évaluer l'entité des **niveaux de congestion** sur le réseau routier, les résultats produits par le modèle de simulation de trafic dans la période été/automne ont été analysés pour déterminer l'entité des flux sur le réseau de la ville d'Olbia. Pour faire cette évaluation, on a pris les données du fichier NetLoad produit par Sumo en utilisant la commande Marouter et elles ont permis de vérifier les flux d'accès au port assignés par le calibrage en quelques points du réseau routier, indiqués dans la Figure Erreur. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..22** ci-dessous et dans le Tableau Erreur. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..5** (élaboré par le processus développé en 0 - Modèle de simulation).

<i>Sectio n</i>	Période de simulation			
	Été: 8-9	Été: 18-19	Automne: 8-9	Automne: 18-19
1	751	583	845	365
2	718	625	792	615
3	1.186	1.319	1.422	1.436
4	703	1.135	554	1.123
5	686	1.041	559	1.019

TABLEAU ERREUR. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..5 - LES FLUX SIMULES AUX POINTS INDIQUES DANS LA FIGURE II.8



FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..22 – POINTS DE CONTROLE DE LA CONGESTION ROUTIERE

Comme on peut le voir dans le Tableau Erreur. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..5** ci-dessus, la plus grande quantité de flux d'accès au port se trouve dans le tronçon 3, à chaque période de l'année. De ces données, il ressort qu'il est nécessaire d'insérer des systèmes d'information sur la mobilité pour les flux de véhicules provenant du côté sud de la ville d'Olbia. En particulier, les informations sur l'état de congestion des entrées de la ville d'Olbia et du port devront être adressées aux composantes lourdes du trafic automobile, qui sont principalement responsables de la congestion urbaine, afin de décongestionner le nœud 3 qui, aux heures de pointe, présente des criticités particulières.

3.10 Accidents

Les données d'accidents pour les années 2014-2018 ont été analysées en comparant les voies d'accès du nord et du sud au port sur les différents itinéraires et il est clair que les flux en provenance du sud affectent un plus grand nombre d'accidents, notamment sur le tronçon côtier de la SS125.

Cet élément supplémentaire permet de certifier qu'il est opportun d'installer un PMV qui redirige les flux de véhicules arrivant/départant au Port depuis la direction sud.

3.11 Construction de scénarios de trafic avec des systèmes d'information

PRÉFACE

Dans cette section, l'analyse des scénarios possibles de réorganisation du trafic est illustrée en partant de la considération préliminaire que les dimensions et les alternatives possibles des voies d'accès/de sortie vers/depuis le port sont invariables. Par rapport à cette hypothèse préliminaire, à partir des résultats de la micro-simulation de l'ensemble du système routier principal d'Olbia et des données de l'enquête sur les flux réalisée en une semaine aussi bien pendant la période estivale que pendant la période automnale de 2019 sur treize tronçons routiers et huit intersections, on analyse d'abord les niveaux de congestion (voir SECTION II), d'accidentalité et de possibilité de réacheminement dans les différentes branches d'accès/de sortie du port.

L'analyse illustrée dans la SECTION II a montré que les niveaux de congestion les plus élevés se produisent dans les branches venant du Sud et, par conséquent, afin de réduire les charges de trafic qui encombrant ces artères principales, il a été évalué, comme défini dans l'introduction générale de cette étude, la rationalisation des flux de véhicules par l'utilisation de l'information des utilisateurs avec un système de panneaux à messages variables-PMV.

3.12 PANNEAUX À MESSAGES VARIABLES

3.12.1 PMVs actuellement présents sur le territoire communal

A ce jour, il existe deux PMV, tous deux inopérants, le premier est situé sur le côté droit du quai de l'Isola Bianca, à la sortie du port (voir Figure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..23**) et le second est situé près du rond-point à l'intersection de la SS125, Via Mestre et Via dei Mercanti (voir Figure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..24**). Si le premier est très utile et indispensable pour informer les flux sortants du Port, le second est important car il informe ceux qui arrivent au Port depuis la zone sud, par la route côtière.



FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..23 – **Le PMV EXISTANT PRES DU PORT - EMPLACEMENT GENERAL**



FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..24 – **Le PMV EXISTANT DANS L'ACCES COTIER SUD DU PORT - EMPLACEMENT GENERAL**

Le système d'info-mobilité prévu dans le projet devra exploiter ces deux PMV et les intégrer avec d'autres pour compléter le système de gestion et de réacheminement des flux de véhicules dans la municipalité d'Olbia.

3.12.2 Les deux nouveaux PMV

Des analyses décrites dans la SECTION II, il ressort qu'il convient de favoriser la localisation des systèmes d'info-mobilité avec PMV dans la partie sud de la ville d'Olbia et en particulier dans les points du réseau routier indiqués dans le Tableau Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..6,** la Figure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..25** et la Figure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..26.** Ces PMV sont destinés à fournir des informations d'info-mobilité sur les flux de véhicules provenant de Sassari, via la SS729 (PMV n.1) et les flux provenant du sud de la SS 131 dcn (PMV n. 2).

ID	Route	Localisation	Coordonnées	
			N	E
PMV n.1	SS729	Km 75,800	40,884133	9,472717
PMV n.2	SS131 dcn	Km 142,100	40,881857	9,498661

TABLEAU ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..6: **EMPLACEMENT DE PMV N° 1 ET 2**

Les figures suivantes montrent les emplacements des deux PMV sur le réseau routier menant à Olbia.

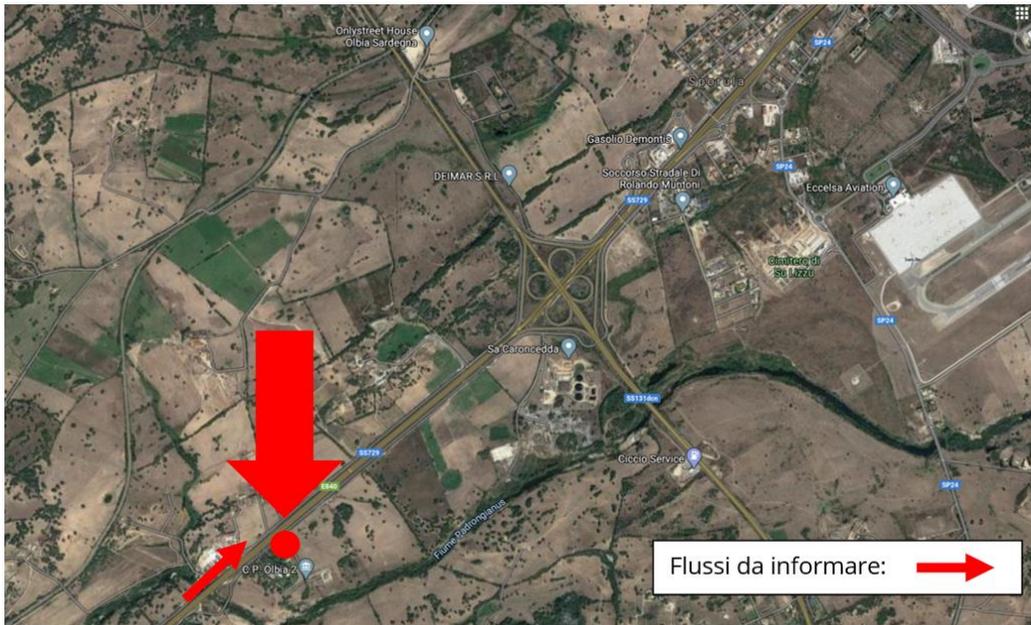


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..25 – LE NOUVEAU PMV NO.1 - EMBLEMMENT GENERAL



FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..26 – LE NOUVEAU PMV NO.2 - EMBLEMMENT GENERAL

3.13 SCÉNARIOS DE GESTION DU TRAFIC

Avec la définition de la localisation de la position des PMV, voici une illustration de la gestion et de l'identification des scénarios de rationalisation du trafic à travers la



plateforme ITS pour la gestion de la messagerie avec les PMV. Le système devra indiquer, en fonction des événements programmés (concomitance de plusieurs embarquements/débarquements simultanés de navires, entretien et interventions sur le réseau routier, etc.), ou des événements soudains (accidents sur le réseau routier menant au port, phénomènes de congestion routière temporaire, etc.)

Les messages d'info-mobilité transmis par les PMV peuvent être intégrés à d'autres outils d'information des utilisateurs, tels que des applications spécifiques ou des services web.

Avec ce système, en relation avec les considérations illustrées ci-dessus, il est possible d'envisager de nombreux scénarios d'info-mobilité et d'intervention sur le réacheminement des véhicules à travers des messages à envoyer par les PMV. Plus précisément, ces messages peuvent concerner le réacheminement des véhicules selon les types suivants:

TYPE 1 - MESSAGE SUR LA CONGESTION DU TRAFIC

Message d'information sur les embouteillages au port le long de la route SS125 côté sud, et conseil pour accéder au port depuis une autre route (par exemple depuis le nœud nord de la même SS125).

En ce qui concerne les exemples de messages indiqués ci-dessus, en fonction des flux de trafic surveillés par les capteurs de trafic illustrés dans le chapitre 4 suivant, des hypothèses seront faites sur l'impact que ces messages pourraient avoir sur les flux de trafic et qui seront illustrées en détail dans la SECTION IV suivante.

TYPE 2 - MESSAGE DE RETARD DU NAVIRE

Message d'information concernant les retards dans l'arrivée des navires au port, avec indication de la zone de stationnement temporaire à utiliser.

L'impact de ce message pourra être évalué une fois que les différentes zones de stationnement à utiliser auront été identifiées.

TYPE 3 - MESSAGE D'INACCESSIBILITÉ

Message d'information sur un accident de la circulation, indiquant un accès alternatif au port.

L'impact de ce message peut être évalué en définissant une stratégie de réorientation et d'intervention avec la police locale et le Corps de police.

TYPE 4 - MESSAGE D'ENCOMBREMENT DU TRAFIC

Message d'information sur les files d'attente concernant les situations critiques générées par la congestion le long du réseau routier principal d'accès/sortie du

port, comme par exemple via Principe Umberto ou le passage souterrain de la SS 125 le long du front de mer du port de la ville d'Olbia, avec indication du réseau routier alternatif.

L'impact de ce message peut être évalué en définissant une stratégie de réorientation et d'intervention avec la police locale et les forces de police.

3.14 Détecteurs de flux de trafic

La détection des flux de trafic est l'un des éléments fondamentaux du système d'info-mobilité ITS : en effet, grâce à un suivi continu, il sera possible, lorsque des conditions critiques seront détectées (flux de véhicules élevés et donc émissions sonores importantes), d'envoyer des messages avec les PMV qui avertissent les utilisateurs et réorientent leurs itinéraires. Pour être efficaces, les systèmes de surveillance du trafic ont été planifiés le long des artères les plus susceptibles d'être encombrées, à la fois par l'analyse de modélisation et les enquêtes de trafic réalisées, et par une comparaison directe avec l'Autorité portuaire d'Olbia et d'autres Stakeholder locaux.

En pratique, les localisations découlent de l'analyse des phénomènes de files d'attente les plus fréquents, souvent présents sur le système routier d'accès/sortie le plus immédiat au port (principalement sur le quai d'Isola Bianca), et de la nécessité complémentaire de connaître les flux plus généraux d'accès/sortie au port et de transit sur le système routier du front de mer du port d'Olbia, constitué par la SS125.

Les localisations, avec leurs caractéristiques et coordonnées, sont indiquées dans le tableau III.2 suivant, tandis que les figures suivantes indiquent les localisations des capteurs individuels.

<i>ID</i>	Route	Localisation	Coordonnées	
			N	E
<i>SP n.1</i>	Quai Isola Bianca	En ligne avec le parking et sur la rampe de sortie	40,924755	9,509126
<i>SP n.2</i>	Isola Bianca	Près du parking de l'Isola Bianca	40,924554	9,507624
<i>SP n.3</i>	S.P. 4M	Avant l'accès au passage souterrain, en direction du nord.	40,921120	9,502346
<i>SP n.4</i>	S.P. 14M	Sortie Tempio	40,931265	9,508584

TABLEAU ERREUR. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..7: EMPLACEMENT DES DETECTEURS DE TRAFIC

La Figure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**27 ci-dessous montre l'emplacement de toutes les infrastructures du système d'info-mobilité basé sur le PMV.

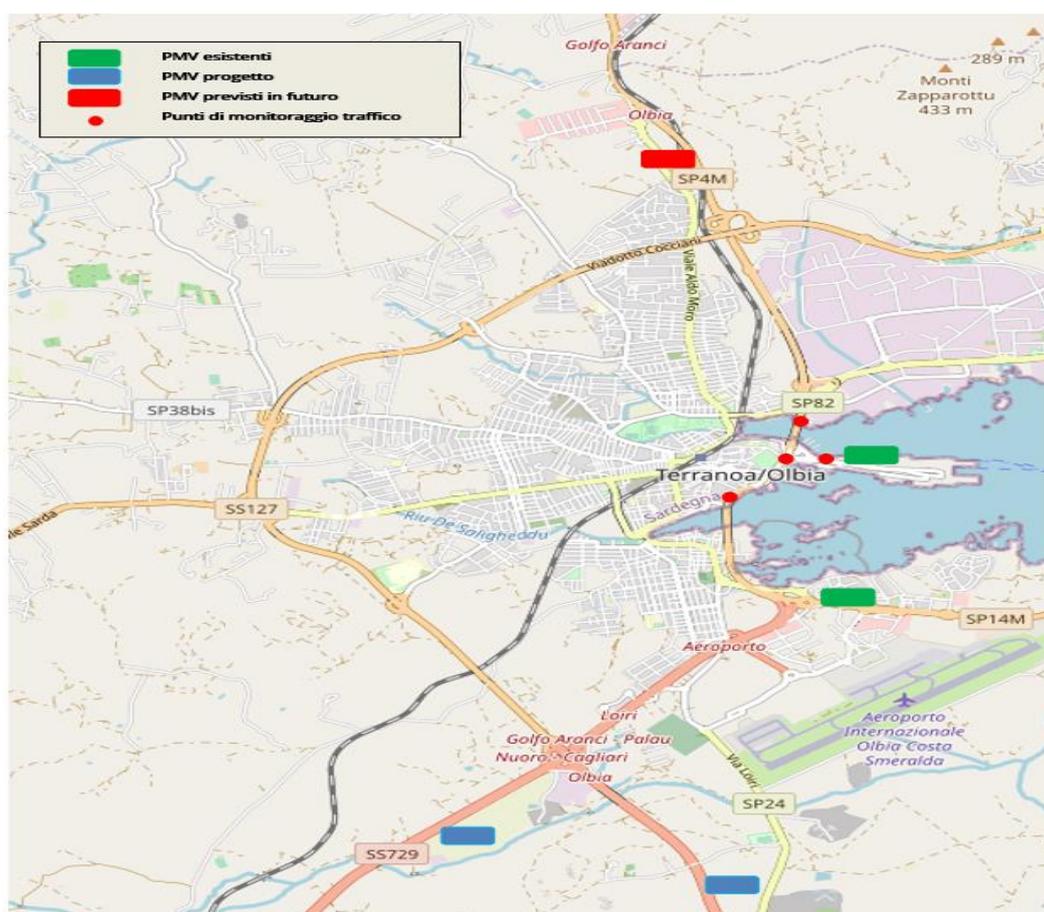


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO.27 -PLAN DE LOCALISATION DES INFRASTRUCTURES DE DETECTION ET D'INFO-MOBILITE

3.15 Application de la modélisation prédictive par réseaux neuronaux aux données de simulation de trafic avec le logiciel sumo

PREMISE

La section des transports de l'université de Cagliari a mis au point un modèle de simulation basé sur l'architecture des réseaux neuronaux pour la prédiction de l'évolution du bruit dû à la circulation des véhicules sur les *waterfront* des villes portuaires. La présence d'un port maritime, intégré dans la ligne de *waterfront* urbain, a le potentiel d'exposer les zones limitrophes à une large gamme de variabilité du trafic sur différentes échelles de temps et peut créer un contexte urbain acoustiquement complexe en évolution continue. Les flux de *trafic-bruit* de faible intensité pendant les périodes douces ordinaires alternent récursivement avec des conditions sévères de forts volumes de trafic pendant les périodes de pointe. En fait, les activités portuaires, induites par les accès au port, surtout pendant la saison touristique, influencent de façon dynamique le volume et la composition du flux de véhicules au moment même où les activités d'embarquement et de débarquement des véhicules sont en cours.

Les modèles statiques classiques de *trafic-bruit*, fondés sur des hypothèses et des analyses purement statistiques, ne sont pas des outils de prévision totalement adéquats pour intégrer et reproduire les caractéristiques dynamiques du comportement du *trafic-bruit* dans les différentes échelles de temps spécifiques à ces contextes et pourraient conduire à des résultats irréalistes dans la prévision de l'impact des stratégies de trafic visant à réduire le bruit urbain.

L'architecture de réseau neuronal adaptatif qui a été adoptée pour développer le modèle de prédiction s'est avérée adéquate pour reproduire de manière satisfaisante la dynamique de l'événement trafic-bruit avec un raffinement temporel égal à 1 minute. Le modèle neuronal a été entraîné et testé avec succès à l'aide de données expérimentales de bruit et de trafic acquises pendant deux périodes de mesure caractérisant le climat acoustique sur une base annuelle dans la ville portuaire d'Olbia. Pour mener à bien la procédure d'entraînement et la validation de la phase de généralisation, les périodes de mesure caractéristiques suivantes ont été sélectionnées : une période douce de trois jours au mois de mars, lorsque les volumes de trafic sont ordinaires, et une période de pointe de trois autres jours au mois d'août, représentative de la période d'intensité maximale du trafic annuel. La capacité du modèle à généraliser ce qui est appris à partir du sous-ensemble d'entraînement a été testée sur un grand ensemble de test composé d'une séquence de 7750 enregistrements d'une minute chacun qui

correspondent à 89% des 8640 observations expérimentales, tandis que l'ensemble d'entraînement est composé des 11% restants. Par conséquent, une séquence expérimentale comprenant 890 minutes de valeurs moyennes de niveaux de pression acoustique (sur une base d'une minute), synchronisées avec les mesures correspondantes du trafic automobile sur 11 sections de route, a été suffisante pour prédire l'évolution temporelle de la pression acoustique sur 8640 minutes avec une erreur moyenne inférieure à 1 dB, en utilisant les données du trafic comme source exogène de données d'input. Le modèle adaptatif a montré sa capacité à prédire dynamiquement le niveau de pression acoustique, avec une erreur de moins d'un décibel, à des points de mesure donnés du front du port de la ville d'Olbia, alors que les sources de trafic évoluent selon différents scénarios. La présente étude illustre la capacité du modèle adaptatif à prédire dans quelle mesure des stratégies spécifiques de gestion et de redistribution du trafic automobile affectent la réduction du bruit urbain dans certaines zones qui sont sous l'influence des activités du port maritime de la ville d'Olbia. Les trois points de mesure initialement sélectionnés pour le développement du modèle de prédiction sont maintenant reconsidérés afin d'analyser la réponse acoustique du modèle (en termes de pression acoustique équivalente $L_{eqA, 1'}$) lorsqu'il reçoit en entrée des scénarios de trafic sélectionnés de manière appropriée et générés numériquement.



FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..28: LOCALISATION DES SONOMETRES ET DES CAPTEURS DE TRAFIC DANS LA ZONE URBAINE DU WATERFRONT DE LA VILLE PORTUAIRE D'OLBIA PENDANT LES CAMPAGNES EXPERIMENTALES DE 2019.

Le développement de cette étude est basé sur la capacité de généralisation du modèle afin de déterminer quelles valeurs de pression acoustique équivalente L_{eqA} seraient établies dans les points de mesure phonométrique (FA, FB et FC dans la Figure Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..28**) si un scénario de trafic donné était réalisé dans les 11 sections routières du waterfront du port d'Olbia. Les scénarios de trafic synthétiques appropriés dans les 11 sections de route ont été générés à l'aide de l'outil de simulation numérique SUMO. Sur la base des performances démontrées par le modèle trafic-bruit dans les phases de généralisation de la période de pointe du mois d'août et de la période douce du mois de mars, on peut raisonnablement espérer que la réponse du modèle sera fiable même si la source des données d'input est le résultat de simulations numériques et non directement dérivée de mesures expérimentales. La positivité des résultats obtenus dans la phase de généralisation indique que l'échantillon de réalisations du trafic et du niveau de pression acoustique du bruit qui s'est produit pendant les deux périodes douces et de pointe de mars et d'août, et qui a été mesuré et enregistré pour entraîner le modèle d'apprentissage, est entièrement représentatif de l'espace d'échantillonnage qui forme l'univers des réalisations possibles de l'événement trafic-bruit considéré. Il convient de noter que la présente étude peut également être considérée comme un outil complémentaire pour une validation qualitative du modèle développé, en effet elle permet de vérifier la cohérence des réponses du modèle par rapport au phénomène physique de génération et de propagation du bruit acoustique.

3.16 MÉTHODOLOGIE

Pour obtenir des résultats comparables à ceux obtenus pendant la phase de formation et de test du modèle neuronal, il est nécessaire que les données d'entrée synthétiques (générées numériquement) soient insérées correctement ou qu'elles indiquent les valeurs des flux de véhicules référées exactement aux mêmes positions dans lesquelles les valeurs expérimentales homologues ont été acquises et exprimées selon les mêmes unités de mesure.

De la même manière, les valeurs de sortie déterminées par le modèle ANN sont destinées à être référées aux mêmes points des homologues expérimentaux (comme indiqué dans le PREMIER PLAN).

Pour cette raison, nous indiquons en détail la méthode suivie pour réaliser l'élaboration.

3.16.1 Des données de trafic générées par le modèle SUMO à la composition par type

Comme les données fournies par l'outil de simulation SUMO sont exprimées en véhicules équivalents sur une base horaire pour chaque section de route considérée, alors que les données nécessaires au fonctionnement de l'ANM sont exprimées en véhicules par minute, subdivisés en classes en fonction de leur longueur, plusieurs élaborations préliminaires ont été nécessaires pour harmoniser la nature des données.

Tout d'abord, les données expérimentales sur la composition du trafic par classes et sens de circulation dans chaque section ont été prises en compte et la valeur normalisée (donc relative) pour chacune des valeurs des sections, des sens de circulation et des classes de véhicules a été obtenue.

Ensuite, les valeurs de débit générées par SUMO ont été distribuées selon la distribution normalisée par rapport au temps considéré, en suivant les indications du HCM 1985 pour ce qui concerne les coefficients d'équivalence. Le Tableau Erreur. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**8 présente un exemple d'ensemble de données numériques sur le trafic utilisées en entrée du modèle pour déterminer les valeurs de niveau de pression acoustique équivalent.

		Total des véhicules équivalents	Absolu à partir de la simulation SUMO					
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Tot
1A		931.85	208.8629	498.0578	185.911	18.36158	12.91048	924.1037
1B		796.65	25.5512	635.1299	119.5431	9.12543	4.562715	793.9124
1C		780.6	42.38106	664.2985	61.10758	5.913636	4.312027	778.0128
1D SORTIE DU PORT	dir 1	1227	17.69712	147.476	740.3293	224.1635	60.83383	1190.5
1D DIRECTION PORT	dir2	703	49.35674	158.7419	273.463	136.0645	53.35863	670.9848
1E			0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0
2A DIRECTION NORD	dir 1	664.7	64.78558	211.201	325.2236	34.98421	17.81603	654.0104
2A DIRECTION SUD	dir2	502.05	16.3712	158.2549	233.2895	66.84905	17.05333	491.818

3A (UNIQUEMENT EN DIRECTION DU SUD)		405.45	23.85	220.6125	146.0813	1.490625	8.384766	400.4191
3B DIRECTION NORD	dir 1	1056.6	56.8676	890.5466	85.3014	15.92293	4.975915	1053.614
3B DIRECTION SUD	dir2	960.75	30.90132	769.7237	141.3969	11.23684	4.682018	957.9408
3C DIRECTION SUD	dir 1	796.65	25.66881	635.3032	119.1766	9.167434	4.583717	793.8998
3C DIRECTION NORD	dir2	780.6	42.43464	665.1383	60.19798	5.921113	4.317478	778.0095

TABLEAU ERREUR. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..8 COMPOSITION HORAIRE DU TRAFIC AUTOMOBILE DE 11 H A 12 H DONNEES RECAPITULATIVES AVEC UNE DISTRIBUTION EQUIVALENTE A CELLE EXPERIMENTALE MESUREE DE 11 H A 12 H LE 26 AOUT 2019.

3.16.2 Construction du dataset synthétique

Pour chacun des scénarios de trafic considérés, un dataset synthétique a été créé selon la méthodologie exposée. Cependant, pour le bon fonctionnement du modèle, qui prévoit la possibilité de prédire l'output en fonction également d'un certain nombre de régresseurs de trafic et de bruit (c'est-à-dire un certain nombre de valeurs de trafic et de bruit antérieures à l'instant courant), les simples valeurs instantanées générées par SUMO pour les différents scénarios analysés, ne sont pas complètes pour garantir le bon fonctionnement du modèle. Pour cette raison, il a été nécessaire de fournir à l'ensemble de données un nombre suffisant de données *historiques* (dynamiques, c'est-à-dire variant dans le temps) qui ont été préalablement insérées (selon la série chronologique de référence) et interpolées à ces dernières. Enfin, les valeurs du point synthétique ont été considérées comme *stationnaires* pour un intervalle de temps ultérieur afin de permettre la stabilisation de la réponse de sortie du réseau neuronal et l'*amortissement* de toute composante haute fréquence sur le signal de sortie (en termes de L_{eqA}).

Nous présentons à la Figure Erreur. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..29** un exemple d'un dataset de données sur les termes dynamiques, transitoires et stationnaires. Chaque couleur représente une classe de véhicules et une direction de déplacement. Notez à gauche, indiquée par la flèche verte, la composante dynamique (*historique*), à droite la composante stationnaire (flèche bleue) et au milieu la phase transitoire en pointillés.

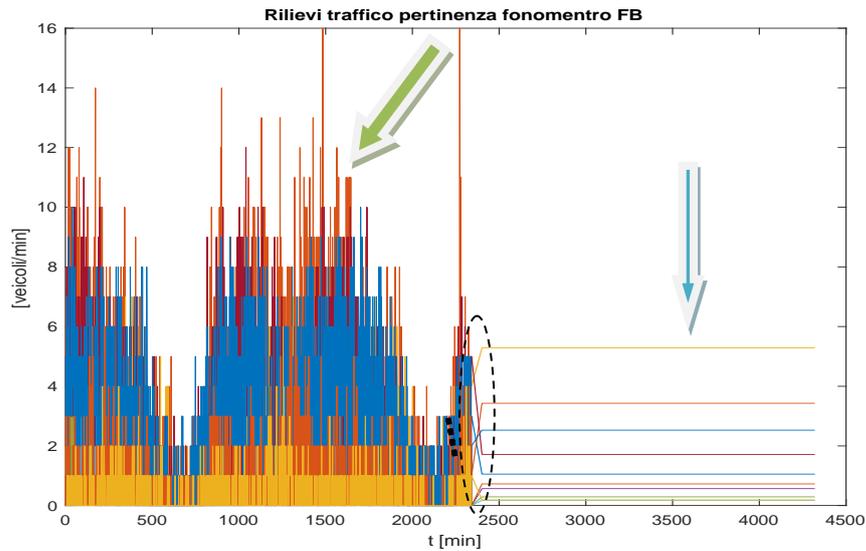


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..29 EXEMPLE D'UNDATASET SYNTHETIQUE, AVEC UN TERME DYNAMIQUE, TRANSITOIRE ET STATIONNAIRE. CHAQUE COULEUR REPRESENTE UNE CATEGORIE DE VEHICULES ET UN SENS DE CIRCULATION.

Il faut noter que les données *historiques* arrivent jusqu'à l'heure de la journée à laquelle se réfèrent les scénarios de trafic simulés dans le modèle de transport SUMO, c'est-à-dire que ces données ponctuelles sont insérées dans la série temporelle expérimentale à l'heure à laquelle elles se réfèrent, afin de rendre l'estimation et le fonctionnement du réseau neuronal plus fiables et robustes.

Pour chaque station phonométrique, un jeu de données similaire a été construit avec les sections de route concernées.

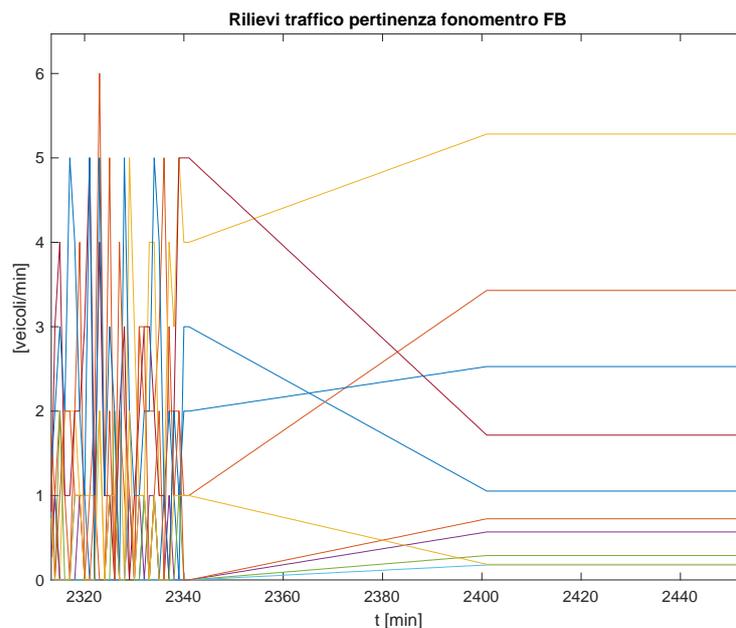


FIGURE ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..30 DETAIL DU TRANSISTOR DE LA FIGURE IV.2. CHAQUE COULEUR REPRESENTE UNE CLASSE DE VEHICULE ET UNE DIRECTION DE DEPLACEMENT.

3.16.3 RÉSULTATS

Les scénarios envisagés pour les simulations sont décrits ci-dessous. A la fin du paragraphe, un résumé des estimations obtenues pour chaque station phonométrique et pour chaque scénario est rapporté. Pour les données relatives aux estimations du trafic de véhicules renvoyées par le logiciel SUMO et aux dataset synthétiques, avec les termes dynamiques, transitoires et stationnaires, veuillez-vous référer au traitement étendu joint au projet Report.

Scénario 1

Ce scénario est lié à la situation actuelle dans la tranche horaire de 11 à 12 de la période de pointe et vise à vérifier la correspondance des simulations, sans stratégies de redirection, avec les données expérimentales, à travers un calibrage du modèle SUMO, utilisé comme générateur de données de trafic à fournir en input du modèle neuronal.

Le scénario représente la modélisation numérique d'une configuration globale très similaire à celle observée dans la tranche horaire entre 11 et 12 heures de la période de pointe lors de la campagne expérimentale à la même heure et avec des conditions aux limites similaires. Tant les valeurs relatives aux flux de véhicules que celles relatives au bruit sont proches et cohérentes avec celles acquises expérimentalement.

Scénario 2

Ce scénario se réfère à la tranche horaire de 11h à 12h de la période de pointe et prend en compte les PMV actifs, aussi bien les deux en direction du port que celui qui quitte le port sur le quai d'Isola Bianca.

Il simule la situation qui pourrait être enregistrée si les flux de trafic étaient déviés de manière appropriée grâce à l'utilisation de panneaux à messages variables et d'Apps. Tant les valeurs relatives aux flux de véhicules que celles relatives au bruit sont différentes de celles du scénario 1. On constate que les valeurs L_{eqA} sont en général plus faibles que dans le scénario 1, ce qui indique qu'une intervention de ce type présente sans aucun doute des avantages en termes d'atténuation du bruit du trafic.

Scénario 3

Ce scénario, comme le scénario 1, est lié à la situation actuelle mais se réfère à la tranche horaire de 08h00 à 09h00 avec l'état actuel des flux résultant du modèle de trafic calibré avec les données de trafic de la période de pointe estivale.

Ce scénario représente la modélisation numérique d'une configuration globale très similaire à celle observée dans la tranche horaire entre 8 et 9 heures de la période de pointe lors de la campagne expérimentale à la même heure et avec des conditions aux limites similaires. Les valeurs du débit de véhicules et du bruit sont proches et cohérentes avec celles obtenues expérimentalement..

Scénario 4

Il s'agit du scénario de conception, dans la tranche horaire 8h00-9h00, lorsqu'un grand navire est censé partir et arriver pendant l'heure de pointe. Cela génère un flux de 530 véhicules/h en direction du port et de 900 véhicules/h en provenance du port, sans réacheminement dû à l'effet des PMV et APP.

A la différence du scénario 5, nous simulons ici la situation qui pourrait se produire si les flux de trafic n'étaient pas détournés de manière appropriée par l'utilisation de panneaux à messages variables et d'Apps afin d'atténuer le bruit sur le front du port lorsque le départ et l'arrivée d'un grand navire sont prévus. Les valeurs du débit de véhicules et du bruit sont toutes deux nettement supérieures à celles du scénario 3. On constate que les valeurs L_{eqA} sont en général plus élevées que dans le scénario 5, ce qui indique que sans atténuation du bruit généré par le trafic, les valeurs de niveau sonore équivalent aux points d'observation seraient nettement plus élevées.

Scénario 5

Il s'agit du scénario de conception, dans la tranche horaire 8h00-9h00, lorsqu'un grand navire est censé partir et arriver pendant l'heure de pointe. Cela génère un flux de 530 véhicules/h en direction du port et de 900 véhicules/h en provenance du port, avec une réorientation due à l'effet des PMV et des APP.

Ce scénario simule la situation qui pourrait être enregistrée si les flux de trafic étaient convenablement redirigés par l'utilisation de panneaux à messages variables et d'Apps afin d'atténuer le bruit sur le front du port dans la tranche horaire comprise entre 8 et 9 heures de la période de pointe. Les valeurs du flux de véhicules et du bruit sont toutes deux significativement différentes de celles du

scénario 4. On peut noter que les valeurs L_{eqA} sont généralement plus faibles que dans le scénario 4, ce qui indique qu'une telle intervention produit sans aucun doute des avantages substantiels en termes d'atténuation du bruit du trafic..

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4	Scénario 5
FA	66.40 dB	66.23 dB	70.93 dB	68.30 dB	67.91 dB
FB	68.11 dB	67.56 dB	67.96 dB	68.36 dB	67.93 dB
FD	72.67 dB	64.57 dB	73.57 dB	74.11 dB	73.55 dB

TABLEAU ERREUR. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..9 RESUME DES VALEURS PREDITES PAR LE MODELE ANN POUR CHAQUE SCENARIO.

3.17 Considérations et comparaisons sur les valeurs estimées par le modèle de réseau neuronal en fonction des scénarios générés par sumo

L'utilisation du modèle ANNM pour prédire quelles valeurs de L_{eqA} seraient établies dans les points d'observation considérés FA, FB et FD, en réponse aux valeurs des flux de trafic des scénarios qui ont été élaborés par le modélisateur de transport SUMO, permet d'avoir une estimation supplémentaire par rapport à celle fournie par les modèles acoustiques physiques. En effet, par rapport à ce dernier, le résultat élaboré à travers un modèle heuristique basé sur des réseaux neuronaux offre l'avantage de pouvoir apprécier de manière dynamique et plus granulaire la tendance temporelle du phénomène physique et la corrélation entre la cause (le flux de véhicules), les conditions limites (à considérer comme une concause en termes de sources de bruit de fond) et l'effet considéré comme le bruit total mesurable aux points d'observation.

Comme on peut l'observer dans le Tableau Erreur. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..9**, un effet significatif des interventions de réacheminement du trafic automobile sur le bruit estimé peut être apprécié.

Afin de faciliter la lecture et la comparaison des données résumées dans le tableau, la même couleur a été utilisée pour les cellules relatives aux scénarios de trafic liés aux mêmes conditions limites et comparables entre eux. En considérant la tranche horaire de 11 à 12 heures (période de pointe), on peut noter que les valeurs estimées par le modèle ANNM pour le scénario 2 indiquent une atténuation du bruit dans chaque point d'observation (par rapport au scénario 1 avec une réduction sensible dans le point d'observation FD en raison de l'effet plus important sur les flux de véhicules générés par le détournement dans les routes proches de ce point de mesure acoustique.

De même, pour la période de 08h00 à 09h00 pendant la période de pointe, on

peut observer que, en comparant les valeurs de bruit estimées pour le scénario **5** avec celles du scénario **4** et du scénario **3**, une réduction significative du bruit est estimée lorsqu'on suppose une réorientation importante du trafic au moyen de PMV et d'APP. Cette estimation indique un bénéfice qui pourrait être produit par des interventions appropriées de réorganisation du trafic visant à atténuer le bruit, qui n'affectent toutefois pas les activités portuaires normales.

4. Livrable T2.3.1 : Rapport analyse des nouveaux systèmes de propulsion

Les activités de la composante T2.3.1 ont été menées par l'Université de Pise: le Département de génie énergétique, des systèmes, du sol et de la construction avec le Département de physique. La recherche a consisté en l'analyse des émissions sonores des activités portuaires de manutention de marchandises et le développement de modèles des sources, notamment ceux relatifs aux systèmes de propulsion des véhicules de manutention. L'estimation des niveaux de puissance acoustique a également été réalisée dans l'hypothèse de l'utilisation de nouveaux vecteurs d'énergie pour alimenter les systèmes de propulsion. L'étude de cas examinée était la zone du Terminal Darsena Toscana du Port de Livourne, où des mesures acoustiques ont été effectuées sur le terrain avec la collaboration du Département Développement et Innovation de l'Autorité Portuaire de Livourne et du Bureau de Gestion HQSE du Terminal.

Une campagne de mesures a été développée dans la zone du Terminal Darsena Toscana du Port de Livourne concernant les principales activités de manutention de marchandises bruyantes avec des véhicules routiers propulsés par des moteurs diesel (par exemple, reach-staker, transtainer et grues de quai). Les mesures acoustiques ont été répétées pour caractériser les différentes conditions de travail (par exemple, la manutention des conteneurs dans les phases de chargement et de déchargement, les manœuvres de véhicules par route, l'attente en stand-by) et les différentes conditions de contexte (par exemple, la présence de multiples sons) sources, traitement simultané, passage de véhicules à proximité), par rapport à la position dans la zone du Terminal (place, quai, voie ferrée). Par souci d'exhaustivité, des mesures acoustiques du bruit ambiant ont également été réalisées. Au total, 42 mesures de niveau sonore ont été effectuées, d'une durée de 3 à 30 minutes, pour un total d'environ 600 minutes de mesure, y compris plusieurs événements sonores d'intérêt (parfois séparés avec des preuves parfois chevauchantes pour la contemporanéité). Ces mesures ont été accompagnées de 37 enregistrements audios et de 30 enregistrements vidéo des événements en cours, ainsi que d'une importante documentation photographique. Les activités de post-traitement ont été menées à quatre niveaux de détail : étude de l'événement global, étude des macro-événements identifiés au sein de l'événement global, étude des événements significatifs identifiés pour chaque macro-événement ; étude du spectre d'émission sonore lié aux événements significatifs. Après avoir identifié et décrit les différents événements sonores mesurés, les recherches se sont poursuivies avec la modélisation des sources sonores significatives et des

scénarios possibles dans lesquels ces sources sont actives. Les émissions sonores de véhicules similaires aux précédents mais à traction électrique ont donc été analysées et les sources sonores respectives ont été modélisées. Cela a permis d'estimer les niveaux sonores dans l'hypothèse d'utiliser le vecteur électrique pour alimenter les systèmes de propulsion des moyens de manutention actuels et, par conséquent, d'estimer la réduction des émissions sonores par rapport à l'état actuel.

Les résultats de la recherche, avec une référence particulière aux activités décrites, peuvent être résumés comme suit :

- Création d'une base de données des mesures phonométriques des événements sonores enregistrés dans une zone portuaire importante destinée à la circulation des marchandises ;
- Description de l'évolution temporelle et des spectres de fréquence des événements sonores enregistrés et de la collection d'enregistrements sonores et visuels des événements ;
- Modélisation des événements les plus significatifs à l'aide d'un logiciel dédié à l'analyse acoustique de la propagation du bruit dans l'environnement extérieur ;
- La modélisation de scénarios possibles, prenant également en compte le passage à un autre vecteur énergétique, afin de quantifier la réduction de la pollution sonore produite par l'infrastructure portuaire.

Les méthodologies adoptées et les modèles examinés permettront de définir les meilleures stratégies communes aux fins suivantes :

- La réduction de la pollution sonore dans la zone portuaire, contribuant ainsi à assurer le développement durable des ports de commerce et des plates-formes logistiques connectées, assurant leur croissance et leur expansion ;
- La réduction de l'impact sur la population urbaine environnante dont la sensibilité à la pollution de l'environnement et en particulier à la pollution acoustique est largement perçue et malvenue.

5. Livrable T2.4.1 : Questionnaire d'enquête

L'objectif général à long terme de REPORT est d'atténuer les émissions sonores des ports dans le domaine de la coopération transfrontalière afin de rendre les infrastructures portuaires de l'espace maritime plus durables. Une évaluation des coûts sociaux supportés par les résidents en raison de la pollution sonore à proximité des ports a été réalisée. L'objectif de cette enquête était d'interroger sur la base de questionnaires, réalisés à partir de la méthode d'évaluation contingente, des résidents de la commune en face à face. Afin de réaliser le questionnaire, des entretiens semi-dirigés ont été menés auprès de personnes compétentes dans les villes portuaires sélectionnées afin de valider une première version du questionnaire. L'objectif poursuivi à travers ces entretiens et ce groupe de discussion était d'acquérir des informations sur la pollution sonore dans les villes portuaires sélectionnées, en essayant de faire ressortir les éventuelles problèmes critiques et les différences observables dans les différents ports. Les questionnaires ont ensuite été administrés par différents prestataires en face à face selon la méthode des quotas.

6. Livrable T2.4.2 : Rapport sur l'estimation du cout sociale

La pollution sonore, c'est-à-dire un niveau de bruit élevé ou dérangement dans une zone donnée, est devenue un problème environnemental important pour de nombreuses autorités portuaires en Europe et en Amérique du Nord. Nous utilisons une approche d'évaluation contingente afin d'étudier l'impact du bruit dans les ports de trois villes, à savoir Bastia (France) et Gênes et Livourne (Italie), sur le consentement à payer de la population pour des mesures de réduction de cette pollution sonore. Les estimations du consentement à payer sont obtenues à partir d'un échantillon représentatif de résidents locaux, à savoir 400 entretiens dans chaque ville. Les personnes interrogées sont invitées à écouter deux échantillons de bruit de 50 et 40 décibels respectivement, représentant un niveau standard pour des activités portuaires. Ils expriment ensuite leur consentement à payer pour la variation du niveau de bruit mentionnée ci-dessus. L'expérience montre que le consentement à payer des résidents varie considérablement en

fonction de leur localisation et de facteurs individuels. Certaines implications normatives, en termes de politiques publiques, sont enfin brièvement évoquées.