



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PROGETTO REPORT

“Rumore e Porti”

Prodotto T2.2.2

[Rapport d'analyse sur la régulation du trafic]

Composante [T2 Création de modèles de simulation et de scénarios prédictifs pour l'évaluation du bruit dans les ports]

Attività [T2.2: Analyse des émissions sonores en fonction de l'évolution des conditions de circulation par des interventions de gestion et de régulation]

Date de livraison prévue : [12_2019]

Date de livraison effective : [10_2020]

Organisation responsable : [UNICA-DICAAR]

Niveau de diffusion		
PU	Public	X
CO	Confidentiel, uniquement pour les partner	

Nombre de documents à délivrer :	[T2.2.2]
Responsable de la documentation à fournir :	[Prof. Ing. Paolo Fadda]
Composante:	[T2]

Auteur(s) - par ordre alphabétique		
Nom	Organisation	E-mail
Roberto Baccoli	UNICA-DICAAR	rbaccoli@unica.it
Paolo Fadda	UNICA-DICAAR	fadda@unica.it
Andrea Medda	UNICA-DICAAR	a.medda@unica.it
Luigi Serra	UNICA-DICAAR	luigi.sserra@gmail.com
Federico Sollai	UNICA-DICAAR	fsollai@unica.it



DICAAR

La coopération au cœur de la Méditerranée
La cooperazione al cuore del mediterraneo

Revue des documents			
Version	Dates	Modifications	
		Type de changements	Modifié par

Synthèse
<p>Développement d'un modèle prédictif du bruit de la circulation pour soutenir un système ITS Infomobilité basé sur les PMV, APP, l'information sur le web et d'autres systèmes qui transmettent des informations à l'utilisateur 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 ont une origine et une destination de et vers le port, afin de réduire l'impact global généré sur le front des villes portuaires. Dans cette étude, le système ITS est mis en œuvre à l'aide d'un modèle de bruit du trafic avec l'application de réseaux neuronaux artificiels à partir d'une base de données de flux de trafic et de données de bruit environnemental acquises simultanément dans la ville d'Olbia au cours de deux campagnes d'enquête différentes. Le modèle basé sur les réseaux neuronaux est capable de prédire le bruit généré par les conditions de circulation les plus diverses, tant en période douce qu'en période de pointe.</p>

Donc

INTRODUCTION.....	5
SECTION I. CONSTRUCTION DU MODÈLE PRÉDICTIF TRAFIC-BRUIT AVEC LES RÉSEAUX DE NEURONES	6
1. LE DÉVELOPPEMENT DU MODÈLE EXPÉRIMENTAL DE PRÉVISION DU BRUIT.....	6
1.1 Développement d'un modèle prédictif du bruit de la circulation.....	6
1.2 Mise en œuvre avec les données acquises.....	8
2. RÉSULTATS DU MODÈLE NEURAL.....	15
2.1 Station phonométrique A - Station de mesure du rond-point du Sacré-Cœur (mars, août 2019).....	18
3. CONSIDÉRATIONS SUR LES RÉSULTATS OBTENUS ET CONCLUSIONS.....	22
SECTION II. CONSTRUCTION DU MODÈLE DE TRAFIC AVEC LE LOGICIEL SUMO.....	24
1. INTRODUCTION.....	24
2. ENQUÊTES SUR LA CIRCULATION DES VÉHICULES.....	24
2.1 Période d'automne.....	26
2.2 Période estivale.....	28
2.3 Enquêtes sur les sections.....	31
3. LE MODÈLE DE SIMULATION.....	50
3.1 Résultats du modèle à l'équilibre.....	51
3.2 Les résultats du modèle dynamique.....	56
4. L'ANALYSE DES FLUX ACTUELS.....	60
SECTION III. LA CONSTRUCTION DE SCÉNARIOS DE RÉAMÉNAGEMENT DU TRAFIC AVEC DES SYSTÈMES D'INFO-MOBILITÉ.....	66
1. INTRODUCTION.....	66
2. LES PANNEAUX À MESSAGES VARIABLES.....	67
2.1 PMV actuellement présents dans la zone municipale.....	67
2.2 Les deux nouveaux PMV.....	68
3. SCÉNARIOS DE GESTION DU TRAFIC.....	70
3.1 TYPE 1 - MESSAGE DE CONGESTION.....	70
3.2 TYPE 2 - MESSAGE SUR LE RETARD D'UN NAVIRE.....	71
3.3 TYPE 3 - MESSAGE D'INACCESSIBILITÉ.....	71
3.4 TYPE 4 -MESSAGE DE CONGESTION.....	71
4. DÉTECTEURS DE DÉBIT.....	72
SECTION IV. APPLICATION DU MODÈLE PRÉDICTIF AVEC LES RÉSEAUX DE NEURONES AUX DONNÉES DE SIMULATION DU TRAFIC AVEC LE SOFTWARE SUMO.....	76
1. INTRODUCTION.....	76
2. METODOLOGIA.....	78

2.1	Des données de trafic générées par le modèle SUMO à la composition par typologie 79	
2.2	Construction du dataset synthétiques	81
3.	Résultats.....	83
3.1	Scénario 1	83
3.2	Scénario 2	87
3.3	Scénario 3	90
3.4	Scénario 4	93
3.5	Scénario 5	96
4.	Considérations et comparaisons sur les valeurs estimées par le modèle de réseau neuronal en fonction des scénarios générés par SUMO	99
	Indice delle Figure	100
	Indice delle Tabelle.....	104
	Bibliografia	106

INTRODUCTION

La présente étude, telle qu'elle est présentée dans le rapport T2.2.1, traite de l'élaboration d'un modèle prédictif du bruit de la circulation routière pour soutenir un système STI (cfr. Figure I.1) d'infomobilité basé sur les systèmes PMV, APP, l'information sur le web et d'autres systèmes qui transmettent des informations à l'utilisateur 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 ont une origine et une destination de et vers le port, afin de réduire l'impact global généré sur le front de la ville portuaire.

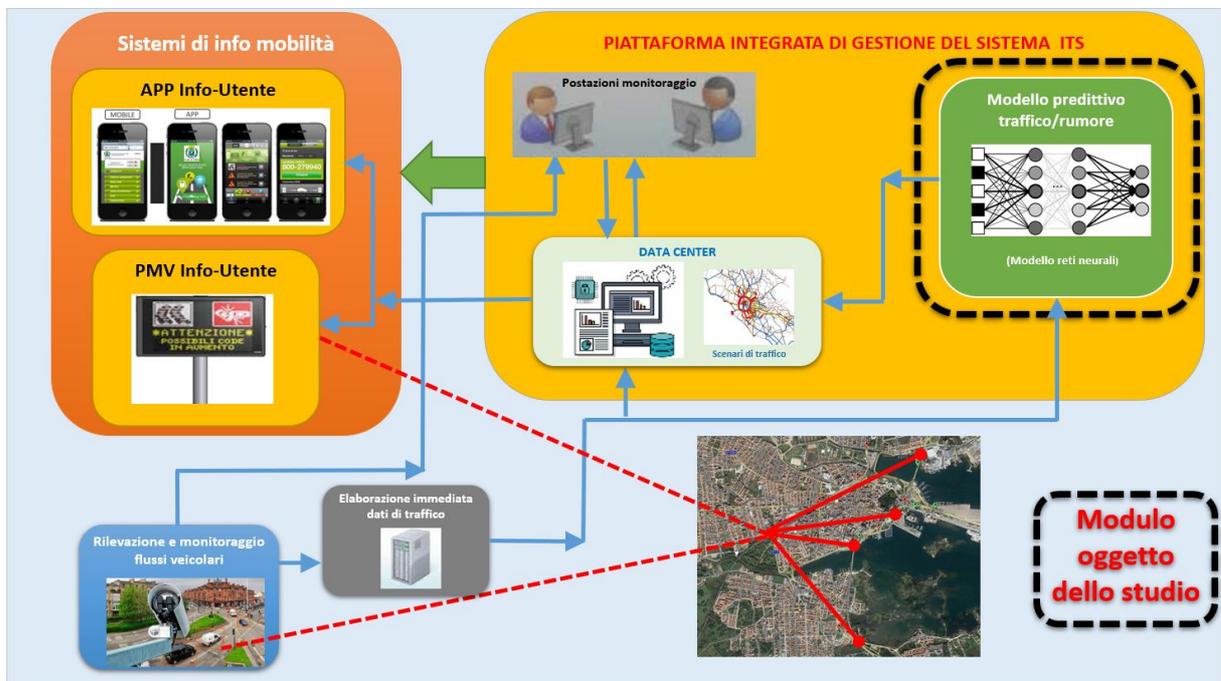


Figure I.1: Schématisation du système ITS

Les sections suivantes illustrent les résultats de l'expérimentation de la composante de modélisation du système STI, découlant de la mise en œuvre du modèle de simulation du trafic (logiciel SUMO) avec le modèle prédictif trafic-bruit à l'aide de réseaux neuronaux (cfr. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) c'est-à-dire la partie du système qui permet d'évaluer les niveaux de bruit, en des points caractéristiques du réseau qui sont particulièrement "sensibles", car les conditions aux limites varient : le trafic (avec ses composantes caractéristiques grâce à l'identification de différents scénarios de trafic détectés et simulés cfr. SECTION IV), la typologie de la chaussée et du contexte urbain par rapport auxquels le système devra exercer ses effets.

Le modèle défini dans la présente étude a pour objectif d'évaluer les niveaux d'émission sonore (également instantanée) générés par le trafic en fonction desquels, le système

ITS suggérera aux usagers de la route des comportements de conduite et de déplacement visant à décongestionner les artères principales vers les nœuds portuaires, et donc à réduire les niveaux d'émission sonore. Le développement du modèle prédictif, tel que déjà décrit en T2.2.1, a été réalisé pour le contexte urbain du port de Waterfront d'Olbia, avec le

l'espoir de pouvoir le mettre en œuvre également pour d'autres réalités portuaires (par exemple Piombino Vado Ligure et Bastia).

SECTION I. CONSTRUCTION DU MODÈLE PRÉDICTIF TRAFIC-BRUIT AVEC LES RÉSEAUX DE NEURONES

1. LE DÉVELOPPEMENT DU MODÈLE EXPÉRIMENTAL DE PRÉVISION DU BRUIT

1.1 Développement d'un modèle prédictif du bruit de la circulation.

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 à un point donné en correspondance avec un scénario assigné de composition et de disposition de la circulation des véhicules sur les sections de route qui ont fait l'objet d'une étude expérimentale. Comme décrit dans l'introduction, le modèle doit pouvoir évaluer la valeur de la pression acoustique en des points sensibles particuliers, sur la base d'un contrôle continu des flux de trafic sur le réseau. En outre, il peut être utilisé dans la phase de planification, pour évaluer les effets sur le climat acoustique des scénarios de trafic définis par les modèles de planification des transports, comme l'expliquera cette étude grâce au logiciel de simulation SUMO.

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

Dans le domaine des modèles d'apprentissage, un **réseau de neurones artificiels** (en abrégé **ANN**) est un modèle informatique composé de neurones artificiels, inspiré de la structure d'un réseau de neurones biologiques. (Schmidhuber, 2015).

Ces modèles d'apprentissage sont utilisés avec un succès croissant pour résoudre des problèmes d'intelligence artificielle, tels que ceux qui se posent dans les domaines

d'application les plus divers (électronique, informatique, simulation et autres disciplines) (Dhanalakshmi et al., 2011; Halkias et al., 2013; Kudo et al., 1999; Zhang et al., 2018) dans lesquels il est nécessaire de reconnaître des configurations ou des informations générales appartenant à un large univers de réalisations, tant dans le domaine du discret que du continu (Brandes, 2008; Fagerlund, 2007).

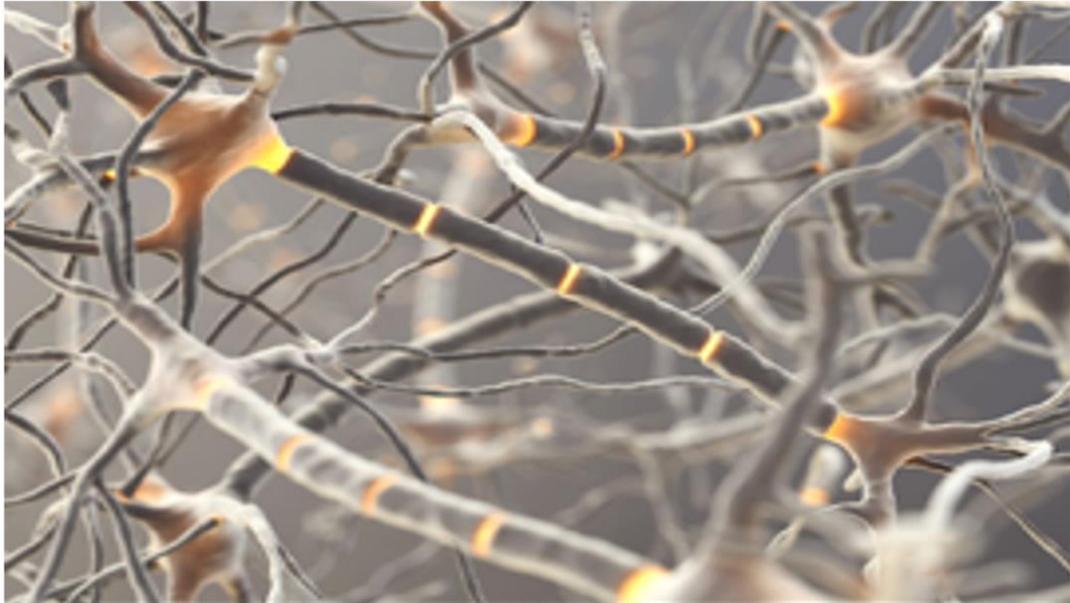


Figure I.1: Représentation d'un réseau de neurones biologiques.

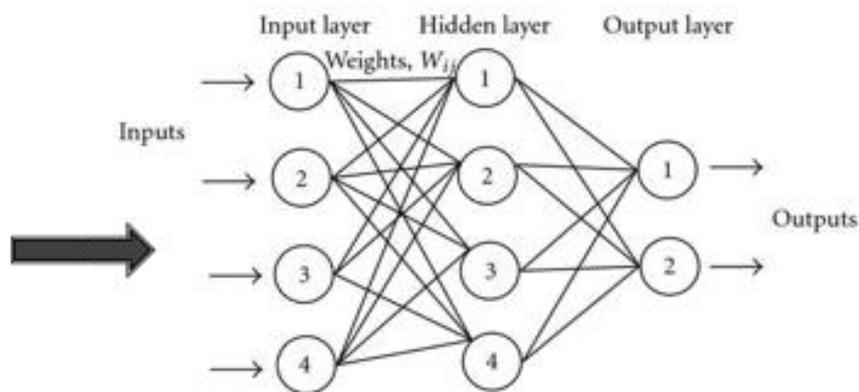


Figure I.2. Schématisation d'une structure d'un réseau neuronal artificiel.

1.1.1 Training procedure

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

L'ensemble d'entraînement est individualisé parmi quelques réalisations expérimentales des événements bruyants qui ont été mesurés tout au long de la période de mesure. Au cours de chaque étape de formation, 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. Une fois la procédure de formation terminée, les paramètres internes du réseau sont déterminés numériquement et prennent donc des valeurs constantes qui ne peuvent plus être modifiées.

1.1.2 Testing procedure

Une fois la formation terminée, une deuxième phase doit être réalisée, c'est-à-dire la procédure de test. Cette activité permet de vérifier et de quantifier la capacité d'apprentissage atteinte par le réseau au cours de la phase de formation précédente.

La capacité d'apprentissage est mesurée et évaluée en termes de capacité du réseau, préalablement formé, à reconnaître correctement le plus grand nombre de configurations des événements bruyants appartenant à l'ensemble de formation (utilisé pendant la phase de formation) et également en termes de capacité à étendre la reconnaissance correcte également aux cas, appelés ensemble de test, qui n'ont pas été précédemment envisagés dans l'ensemble de formation. L'ensemble de tests permet de mettre en évidence la capacité du réseau à généraliser l'apprentissage qui a été atteint dans la phase de formation, car il sollicite la réponse du système à la reconnaissance d'événements bruyants différents de ceux inclus dans l'ensemble de formation et qui ne pourraient jamais influencer le lien mathématique entre l'entrée et la sortie du réseau.

1.1.3 Normalizing procedure

L'ensemble des données expérimentales sur les flux de véhicules est soumis à une normalisation préliminaire avant d'être fourni comme entrée au réseau. La normalisation est une bonne pratique pour éviter que les valeurs maximales et minimales de l'ensemble de test, qui dépassent les valeurs maximales et minimales de l'ensemble de formation, ne provoquent la saturation de la fonction de transfert du réseau. Il est bien connu que ce n'est pas une bonne stratégie que de tester la capacité de généralisation du réseau avec de nouvelles configurations d'entrée dont les données sont hors de portée des entrées avec lesquelles le réseau a été testé précédemment. Dans ce cas, à éviter, l'apprentissage pourrait être inefficace ou trop lent.

1.2 *Mise en œuvre avec les données acquises*

Les acquisitions des enquêtes sur le trafic et le bruit pendant la période de mesure du 25 au 28 mars et du 23 au 26 août ont produit des séries chronologiques avec une résolution temporelle toutes les 60 secondes dont une représentation pendant un segment de temps est donnée dans la Figure I.3.

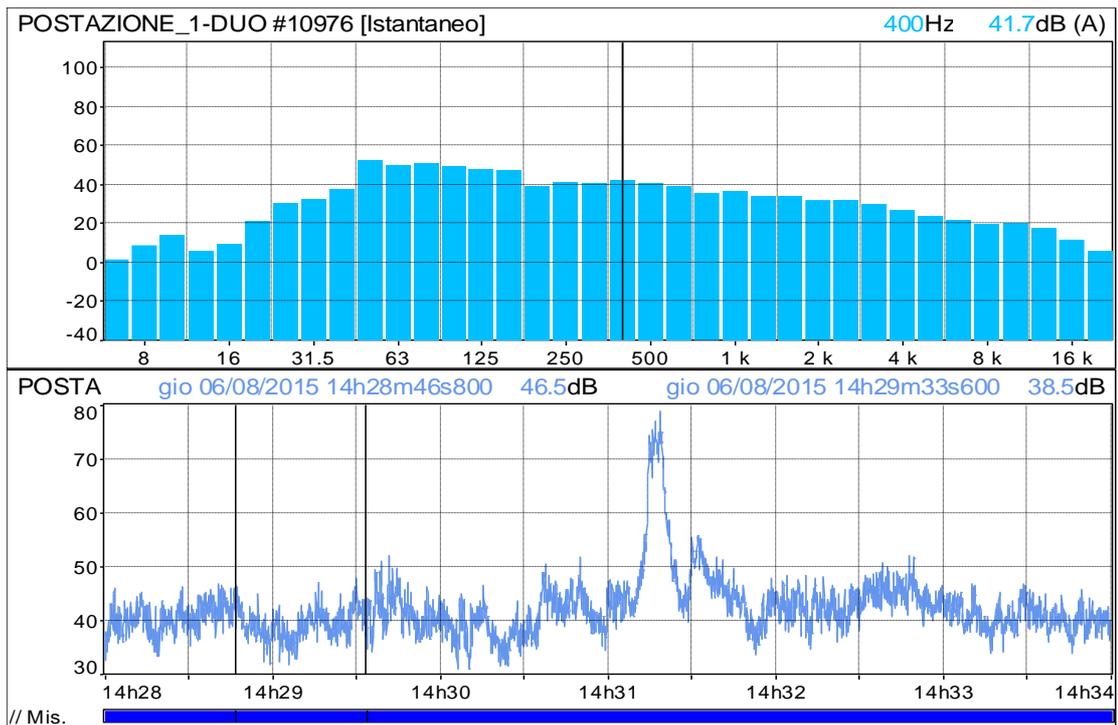


Figure I.3: Gamme avec tendance de niveau équivalent Leq du spectre.

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

- 1) identifier l'architecture et le type de réseau de neurones les mieux adaptés à la tâche assignée parmi:
 - a) Problème de reconnaissance des modèles
 - b) Prévisions des séries chronologiques
- 2) de déterminer le domaine à prendre en considération pour la formation:
 - a) l'évolution temporelle de la pression acoustique
 - b) l'évolution dans le temps du spectre de la pression acoustique.

1.2.1 Stratégie de formation

En Figure I.4 est représentée la tendance du niveau de pression acoustique pendant toute la ligne de temps de la période de mesure (du 25 au 28 mars 2019). Nous pouvons reconnaître la dynamique classique alternant entre la période diurne (rouge), la période nocturne (bleu) et la période nocturne (violet).

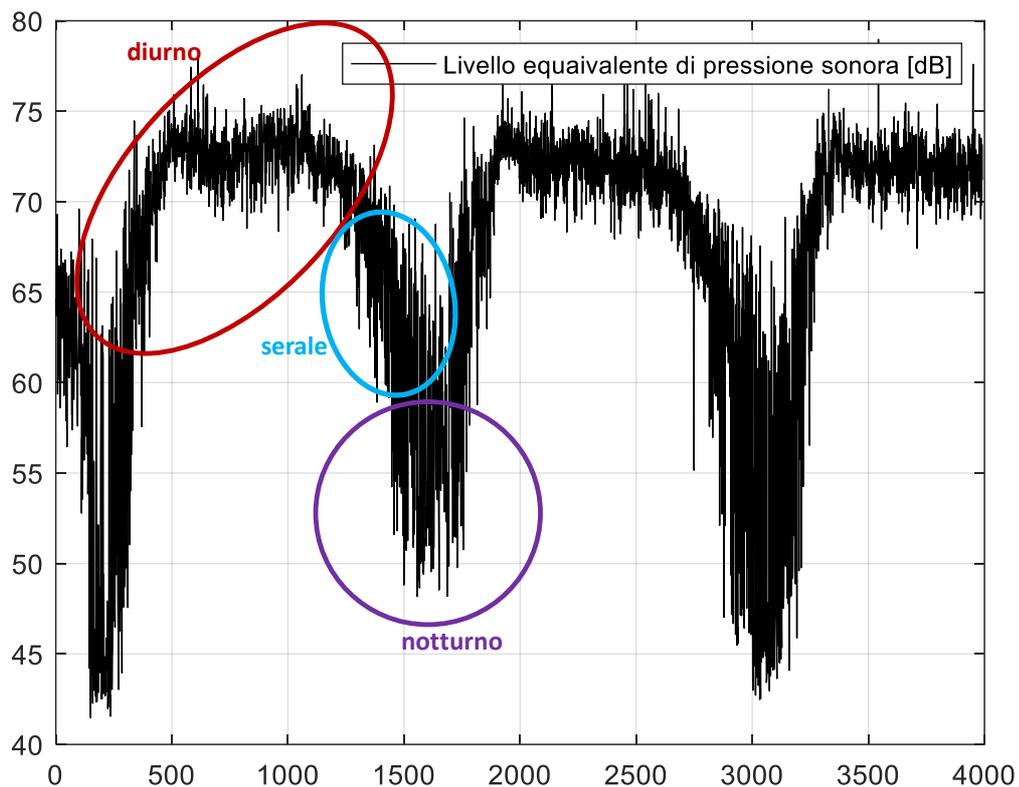


Figure I.4: Évolution temporelle du niveau de pression acoustique pendant la ligne de temps de la période de mesure douce

La phase de formation préliminaire a été structurée par l'adoption de deux stratégies qui ont été poursuivies alternativement et que l'on appellera des "périodes multiples intercalées".

1.2.1.1 *Première stratégie de formation (intervalles de temps multiples)*

La première stratégie consiste à identifier un certain nombre n d'intervalles, régulièrement décalés le long de la ligne de temps, sélectionnés ad hoc pour intégrer globalement la dynamique affichée par l'événement bruyant tout au long de la ligne de temps. Les n intervalles sont utilisés pour constituer l'ensemble de formation, tandis que les instants non inclus sont considérés comme étant incorporés dans l'ensemble de test.

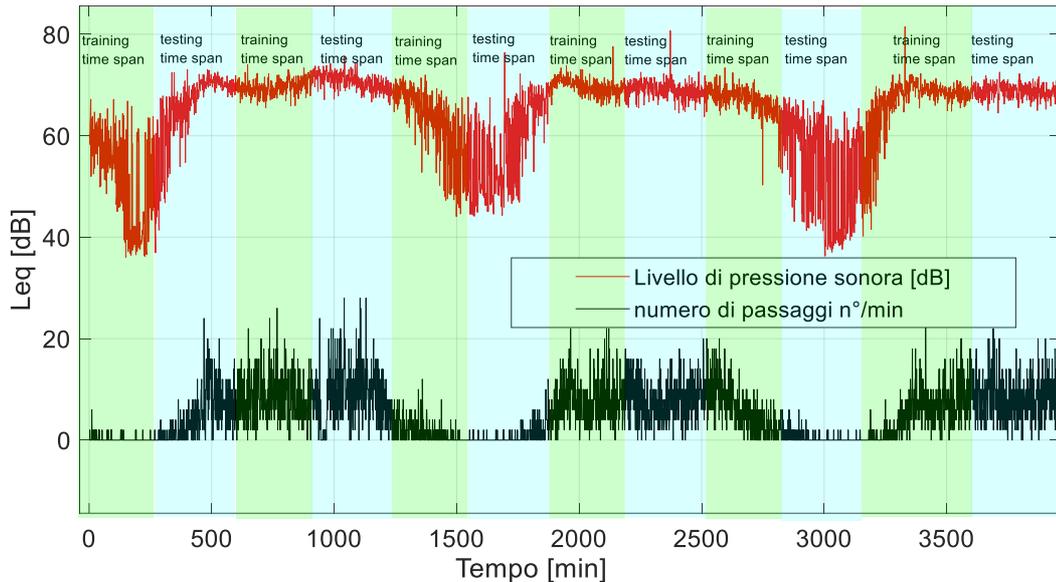


Figure 1.5: Tendence de la circulation des véhicules et du bruit détecté. Les périodes auxquelles se réfèrent les données considérées pour l'ensemble de formation et l'ensemble de test avec la première stratégie "inter-spaced multiple time spans" sont mises en évidence.

La deuxième stratégie, appelée désormais "période unique", repose sur l'identification d'un seul intervalle de temps continu dans la période de mesure, d'une extension suffisante, pour garantir que les configurations de trafic et de bruit présentent une gamme dynamique suffisamment large. Cet intervalle continu est pris en compte pour la formation, tandis que les instants exclus de l'intervalle de formation sont pris en compte pour la deuxième phase de test de validation.

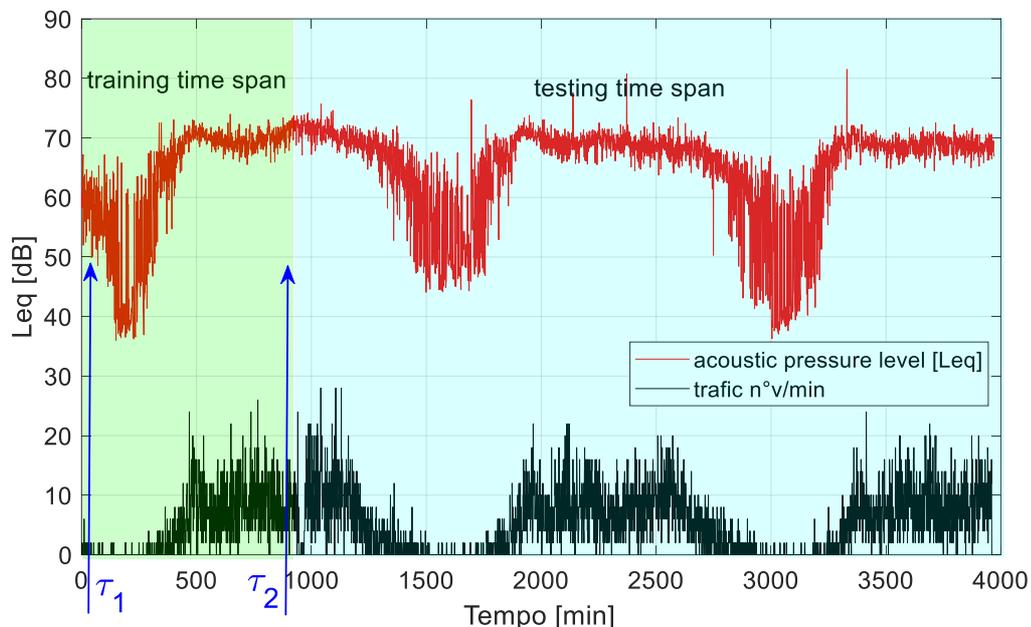


Figure 1.6: Tendence de la circulation des véhicules et du bruit détecté. Les périodes auxquelles se réfèrent les données considérées pour l'ensemble de formation et l'ensemble de test avec la deuxième stratégie sont mises en évidence.

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 dérivés de la première stratégie, par conséquent, seuls les méthodes et les résultats liés à la deuxième stratégie de formation seront présentés. À ce stade, il est utile de rappeler à nouveau le paradigme fondamental sur lequel le modèle de prédiction devra être structuré.

Le modèle doit être capable d'accepter une configuration de trafic donnée comme entrée et donc de renvoyer une valeur de niveau de pression acoustique. Cette capacité du modèle qui vient d'être décrit est réalisée par le modèle pendant la phase de test, une fois la procédure de formation terminée.

1.2.2 Résultats de la généralisation

Une comparaison des quantités suivantes a été effectuée:

- la valeur simulée par le modèle neuronal en réponse à la réalisation du trafic générique qui s'est produit au cours du 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 illustrée dans la Figure I.7. Comme on peut l'observer, l'erreur reste inférieure à 1 dB tout au long de la ligne de temps de mesure par rapport à la phase de test.

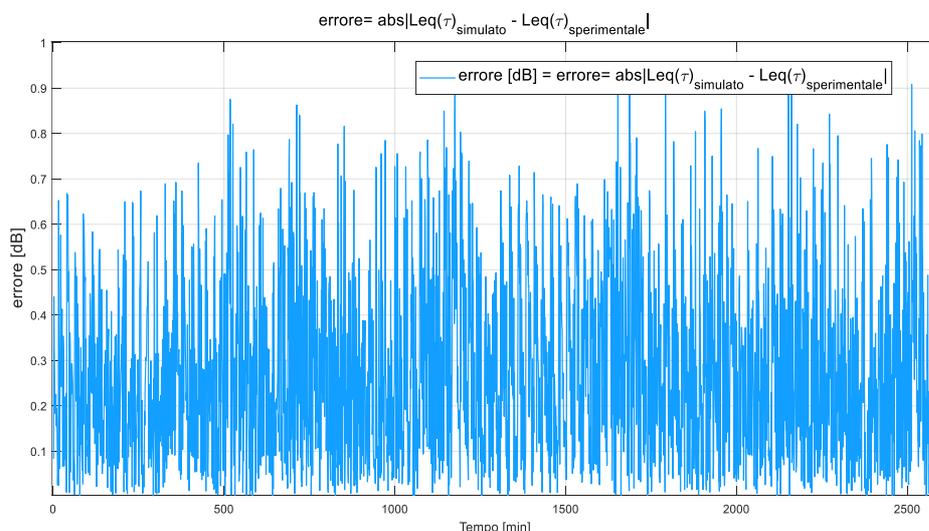


Figure I.7: Erreur lors de la phase de test entre les valeurs mesurées et les valeurs simulées par le modèle.

1.2.3 Analyse de la variabilité des flux de trafic

Une enquête, encore en cours d'affinement, de nature statistique a été menée pour donner une mesure de l'ampleur de la dynamique des réalisations de l'écoulement des véhicules pendant la période de test. Cette enquête vise à vérifier si le réseau généralise ses résultats sur une base de données d'entrée dont la variabilité est importante ou non. La grande variabilité implique que le réseau a pu apprendre sur une base de données "stimulante" et importante avec une dynamique élevée.

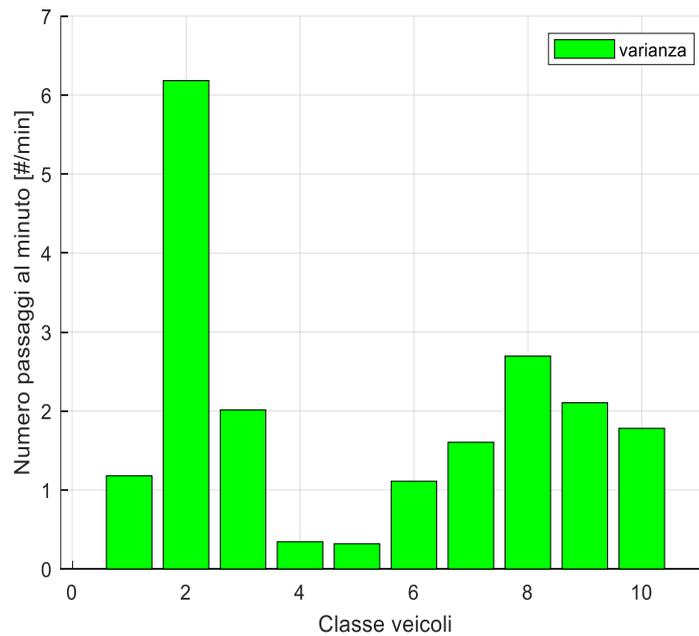


Figure I.8: Variance des échantillons de véhicules par classes de véhicules

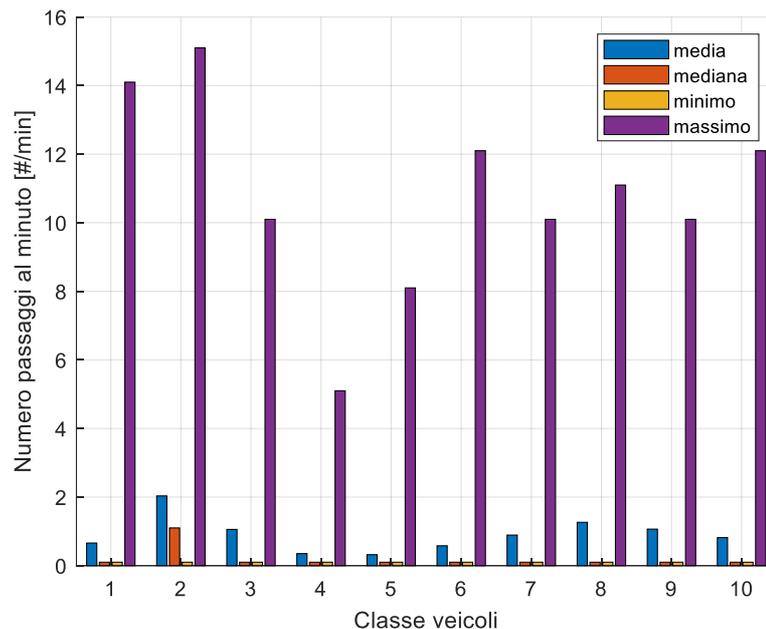


Figure I.9: Valeurs des nombres moyen, médian, minimum et maximum de passages par classe de véhicule et par sens de déplacement

Les diagrammes suivants se rapportent chacun à une classe de véhicule et à son sens de déplacement. L'abscisse est le nombre de passages d'une certaine classe de véhicule. L'ordonnée représente la permanence de cette classe avec le compte de passages indiqué par l'abscisse. Ainsi, un diagramme avec une barre très prononcée à une certaine valeur de l'abscisse signifie que, pendant la majeure partie du temps de mesure, la classe considérée s'est écoulée de manière prédominante avec la valeur indiquant la barre prononcée. Alors qu'un diagramme avec la hauteur des barres bien

réparties en hauteur signifie une plus grande variabilité du flux de cette classe considérée.

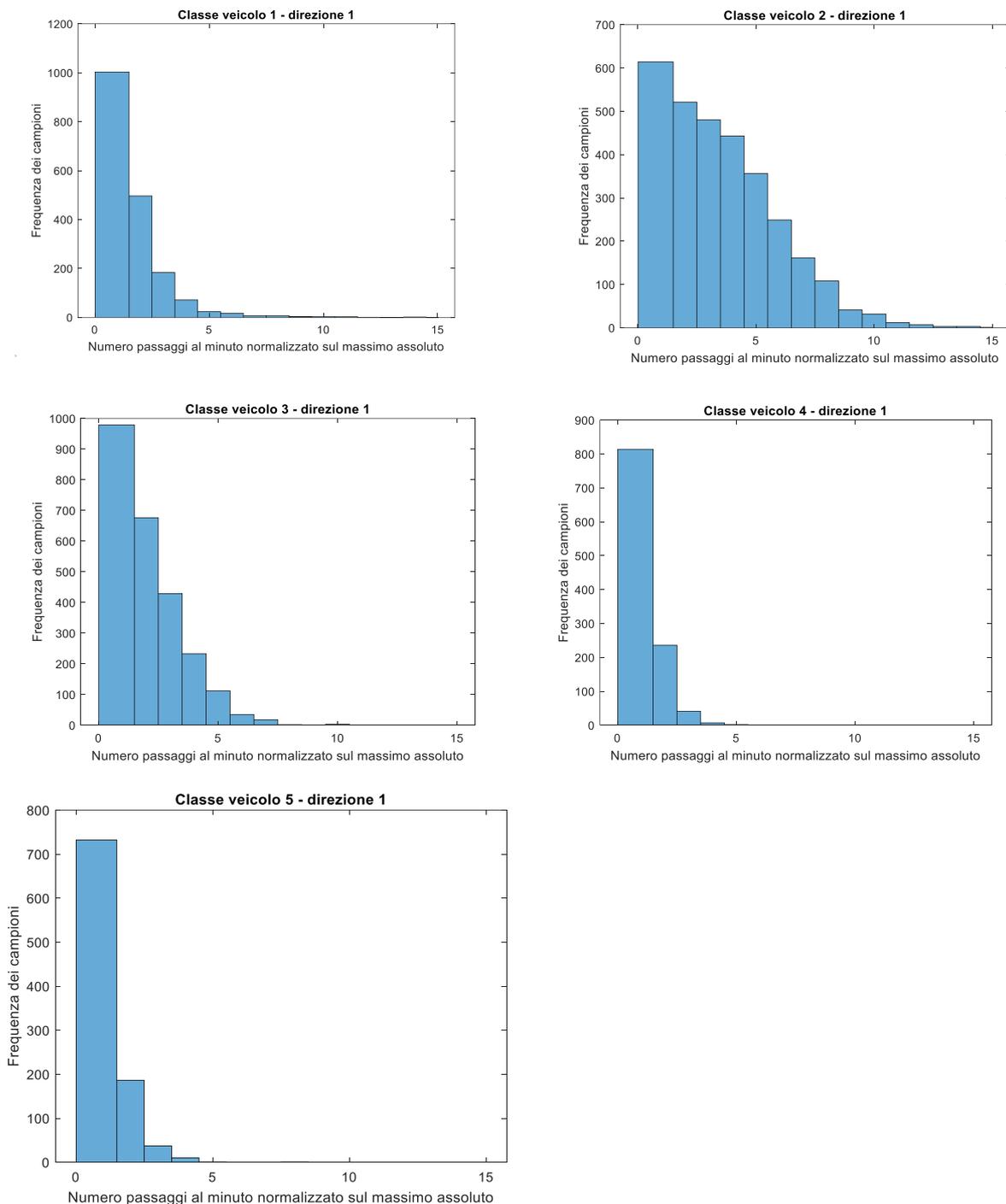


Figure I.10: Répartition de la fréquence du nombre de passages par minute par classe de véhicule et par sens de circulation (sens 1) à la station B

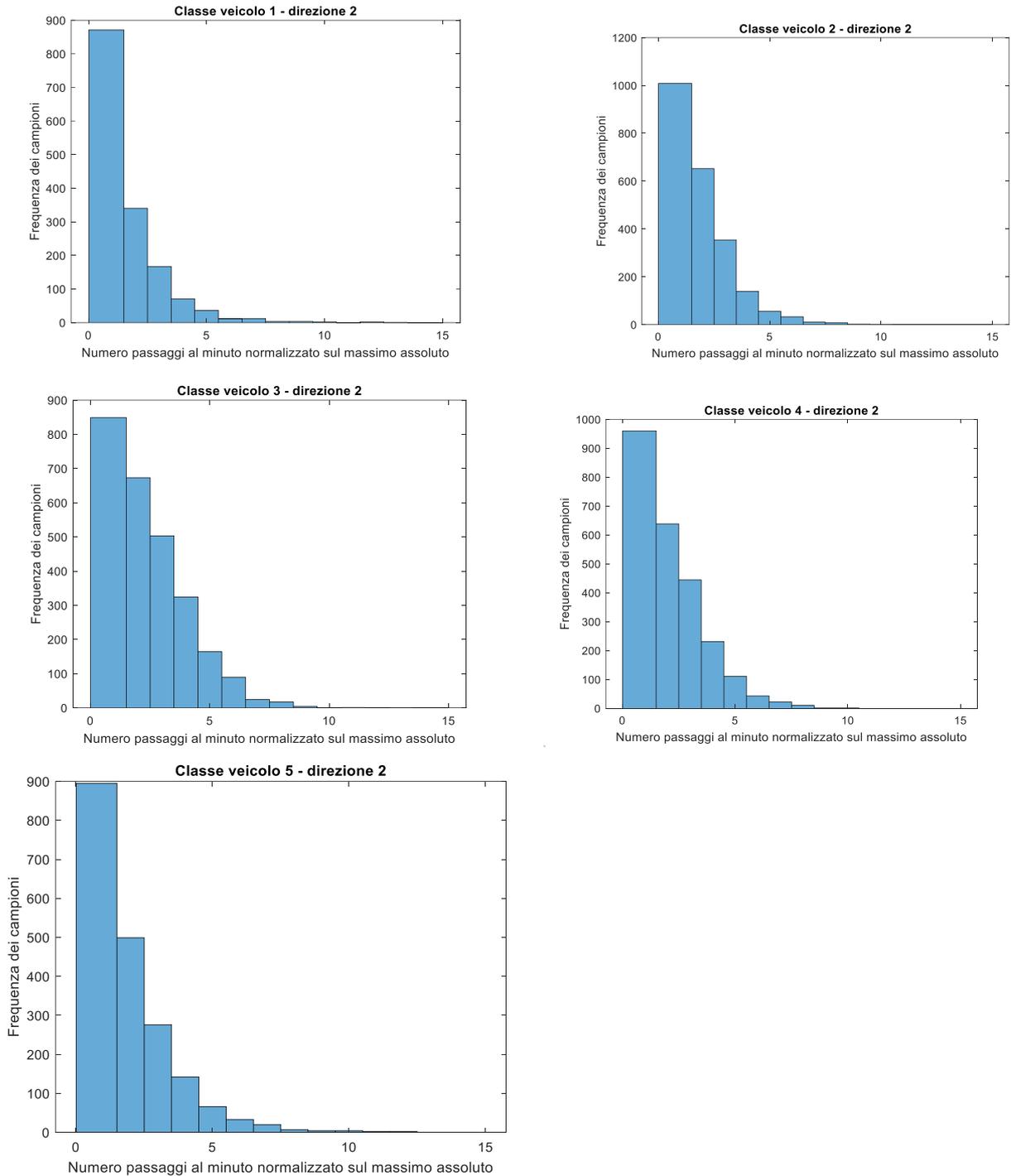


Figure I.11: Distribution de fréquence du nombre de passages par minute par classe de véhicule et par direction (direction 2) pour la station B

2. RÉSULTATS DU MODÈLE NEURAL

Dans cette section, nous présenterons les résultats obtenus dans la phase de simulation à partir du modèle neural une fois la procédure de formation terminée. Cette procédure est basée sur la stratégie de formation, identifiée dans la section précédente avec la

dénomination "single time span", en utilisant les données expérimentales des périodes de référence liées à chaque station de mesure. Les résultats à présenter sont divisés en deux périodes distinctes, l'une relative à la période douce de mars 2019 jours et l'autre relative à la période de pointe d'août 2019 jours.

Les Figure I.15 et Figure I.16 montrent les comparaisons entre les évolutions temporelles du niveau de pression acoustique mesuré expérimentalement et celui prédit par le modèle neural dans la phase de simulation. En même temps que chaque graphique, l'erreur en valeur absolue entre les deux tendances apparaît également. 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 tout 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 pouvoir également montrer la dynamique de la réponse en correspondance avec les pics de courte durée, les valeurs de niveau dans les minutes où des augmentations soudaines du niveau de pression sonore se sont produites ont également été rapportées.

La Figure I.14 montre les tendances des indices qui mesurent la performance du processus de formation du réseau, pour chaque emplacement de sonomètre. Une explication des indices de performance de la phase de formation du réseau est donnée ci-dessous.

Dans l'encadré a) de la Figure I.14 est représentée la tendance de l'erreur quadratique moyenne en fonction de la progression des périodes de formation: une tendance à la stabilisation asymptotique indique la réalisation de la convergence et donc l'achèvement du processus de formation.

Dans l'encadré b), le résultat/objectif de la régression est indiqué: une concentration des points autour de la bissectrice indique la réalisation de meilleures performances. Plus le coefficient de régression R est proche de 1, meilleure est la régression des valeurs estimées par le réseau de neurones par rapport aux valeurs réelles.

Dans l'encadré c), nous présentons l'histogramme des erreurs et leur répartition en fréquence.

Dans le panneau d) nous montrons la tendance du gradient des paramètres, μ , et du nombre de vérifications de validation (dans ce cas toujours nul pour le choix opéré dans la distribution de l'ensemble des données de formation). Dans l'application de l'algorithme de Levenberg-Marquardt à la formation des réseaux de neurones à un grand coefficient μ correspond une lente diminution du gradient du Jacobien de l'erreur du réseau par rapport à ses poids et à son biais et vice versa. On peut observer la tendance des paramètres au cours des périodes d'entraînement.

L'encadré (e) montre la réponse simulée du réseau en formation. En haut sont représentées les valeurs estimées dynamiquement (puis avec la capacité prédictive des valeurs futures par rapport à la série temporelle) par rapport aux valeurs réelles en sortie (Leq A), tandis qu'en bas la valeur de l'erreur: les valeurs apparemment élevées de l'erreur sont dues à la caractéristique prédictive des valeurs futures de l'ensemble de données, mise en œuvre dans la phase de formation.

L'encadré f) montre l'autocorrélation de l'erreur en fonction des valeurs précédentes et suivantes dans la série chronologique. Une valeur très élevée concentrée autour de zéro indique une diversité des valeurs de la série entre elles, c'est-à-dire un manque substantiel de périodicité.

L'encadré g) montre la fonction de corrélation croisée de l'erreur par rapport aux valeurs réelles en fonction des valeurs précédentes et suivantes dans la série chronologique. Dans ce cas, une distribution de valeurs dans le diagramme est une mesure de la similarité des deux ensembles de valeurs. Il donne une mesure de l'uniformité de la performance du réseau neuronal dans la série temporelle considérée. Afin d'optimiser et d'améliorer les résultats du processus de formation, une campagne de formation 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 différents tronçons routiers de la campagne de mesure. Il est donc apparu 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 concordance par rapport aux données expérimentales. En d'autres termes, un processus de formation a été élaboré par étapes. Au départ, le réseau est formé avec les données d'entrée du flux de véhicules provenant du potentiel complet des informations intégrées dans les sections de route qui ont été surveillées. Les résultats de la formation sont comparés à ceux obtenus en réduisant les données d'entrée, car le tronçon routier le plus éloigné est exclu de la formation. Si les résultats obtenus avec l'ensemble de données réduit ne s'aggravent pas ou ne s'améliorent pas, l'exclusion est définitive et l'ensemble d'entraînement qui en résulte est soumis à nouveau à une réduction et à une comparaison. Cette procédure a permis d'identifier un ensemble de données canoniques formé par un nombre minimum de tronçons de route représentant les sources spécifiques qui déterminent les fluctuations du climat acoustique, à proximité de chaque lieu de mesure phonométrique. Cette procédure a été appliquée tant pour la période de jour que de nuit afin d'éviter la probabilité qu'un tronçon de route donné puisse être exclu par erreur parce qu'il était mal corrélé ou redondant avec le climat acoustique d'un lieu donné, simplement en raison des conditions de circulation contingentes auxquelles le tronçon en question était soumis pendant une période donnée.

2.1 Station phonométrique A - Station de mesure du rond-point du Sacré-Cœur (mars, août 2019)

Pour rendre plus efficace l'apprentissage du réseau neuronal qui estime la réponse détectable de la station phonométrique A, nous avons considéré l'ensemble optimisé suivant des sections de l'enquête 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.

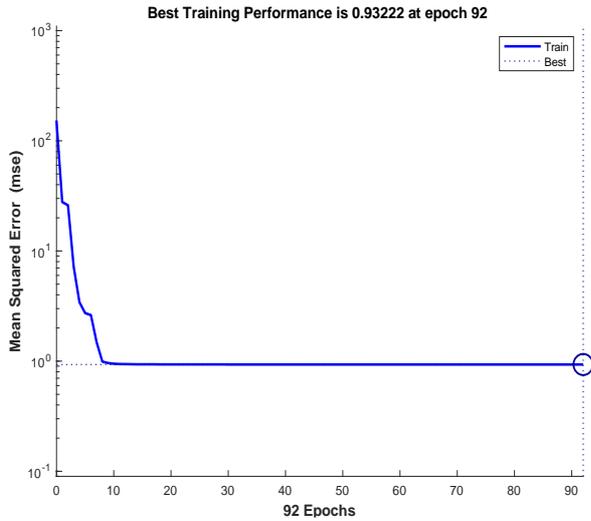


Figure I.12 : Position du microphone A

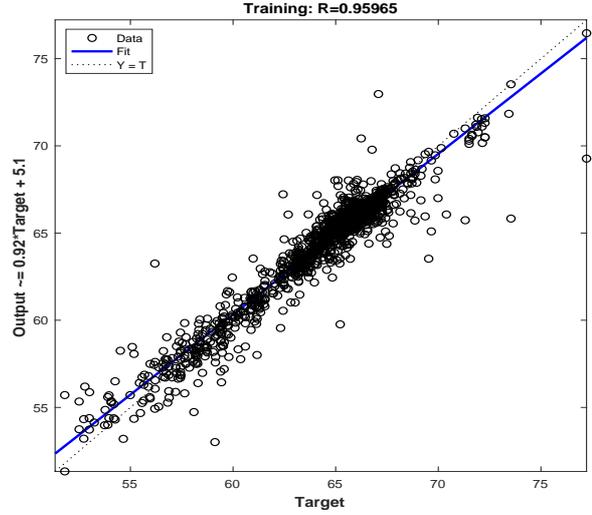


Figure I.13: Sections d'étude de la circulation pertinentes pour la station de nivellement acoustique A.

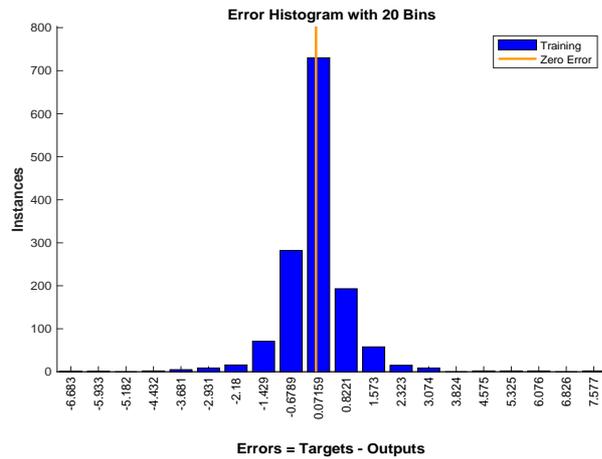
Performance dans la phase de formation du réseau de neurones



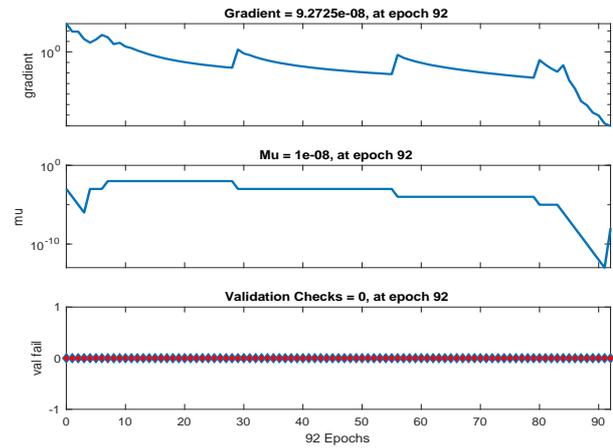
a)



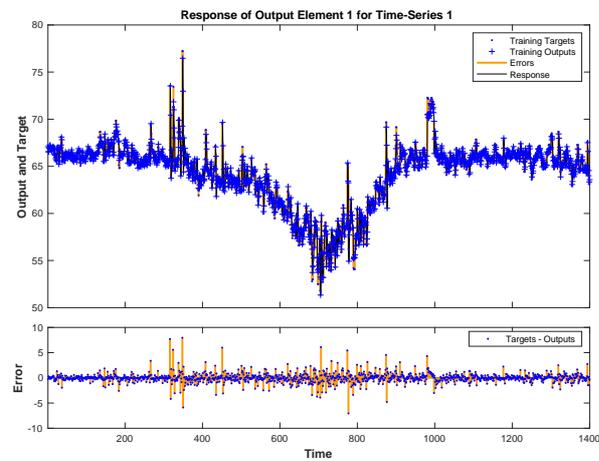
b)



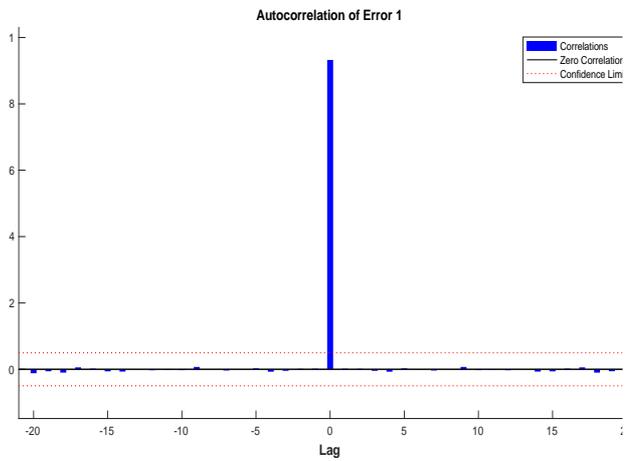
c)



d)

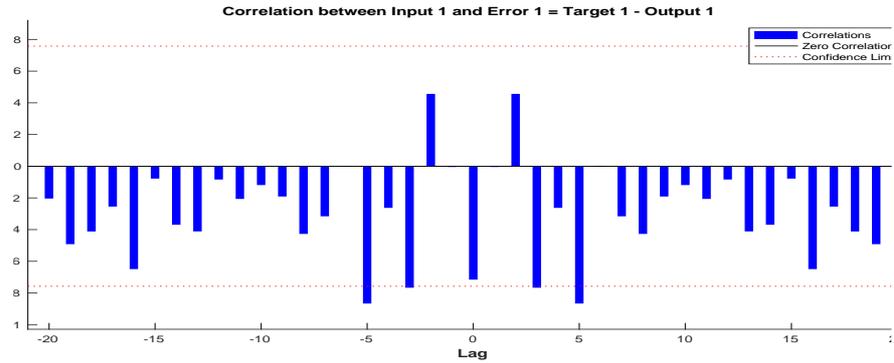


e)



f)





g)

Figure I.14: Diagrammes représentatifs de l'évolution de certaines variables indicatives des performances de la phase de formation du réseau, par rapport à la station A.

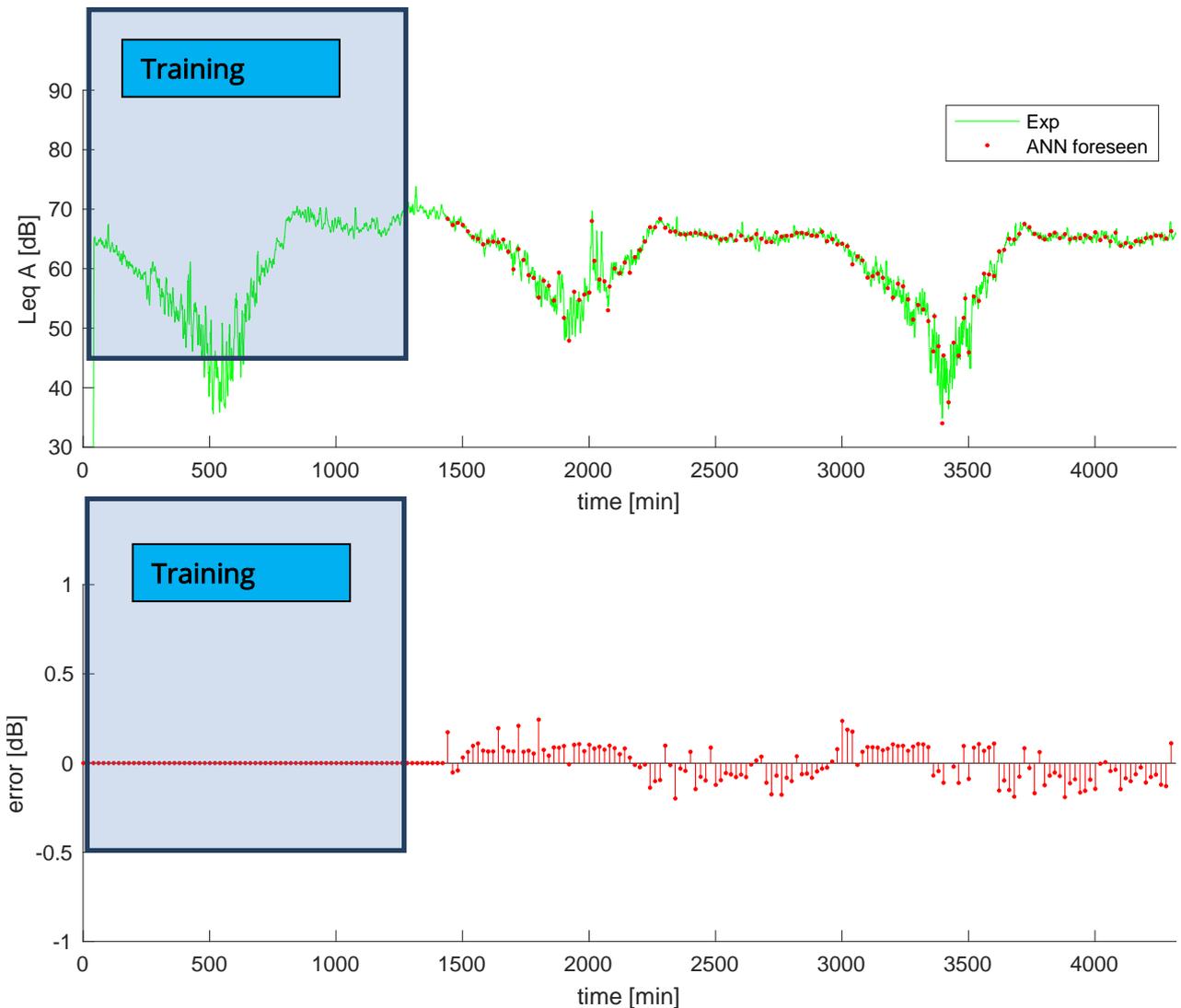


Figure I.15: LeqA acquis expérimentalement (vert) et prédit par ANN (points rouges), en haut. Différence entre les valeurs calculées et expérimentales, en bas. Station A période douce 25-28Mars 2019.

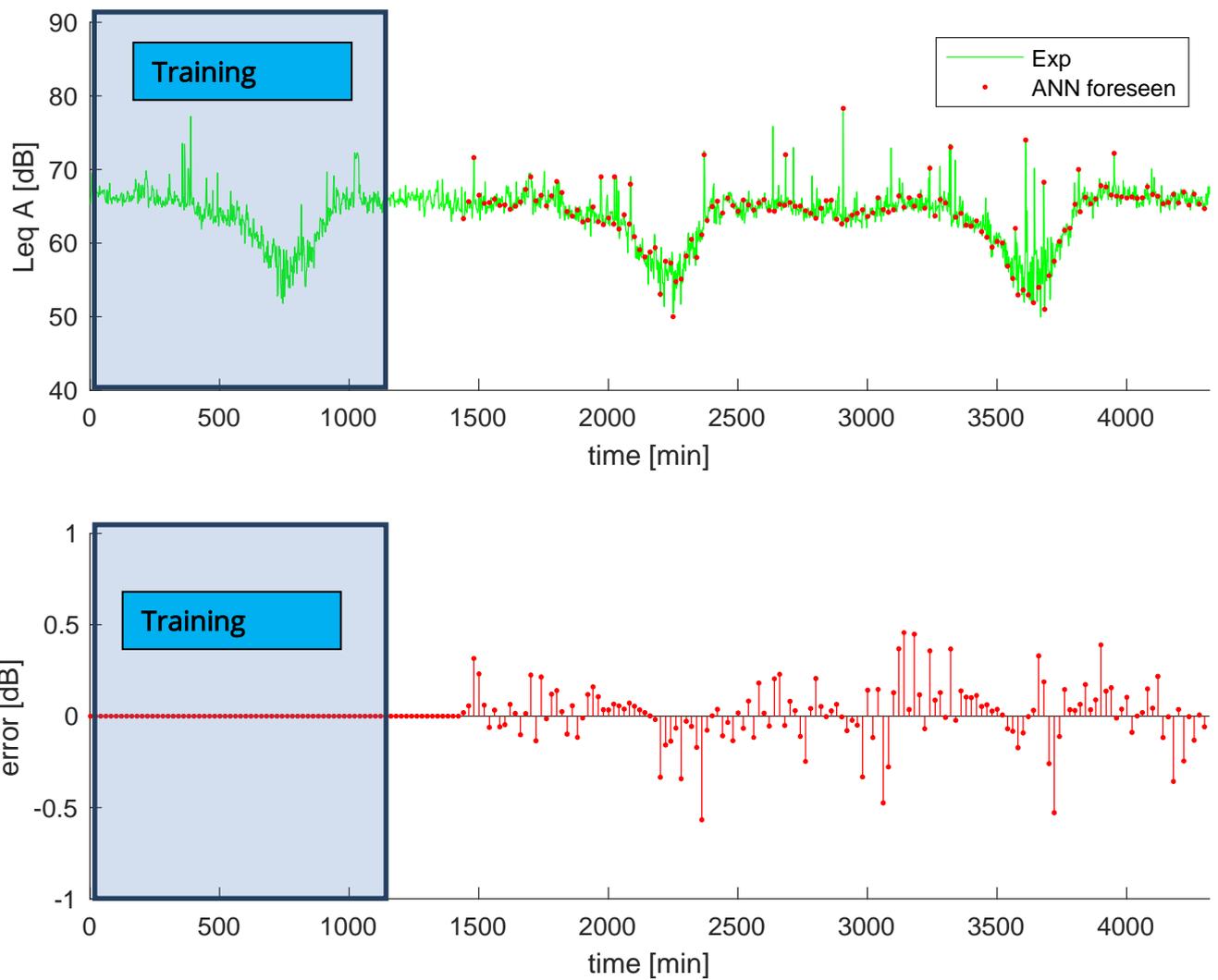


Figure I.16: $Leq A$ acquis expérimentalement (vert) et prédit par ANN (points rouges), en haut. Différence entre les valeurs calculées et expérimentales, en bas. Station A période de pointe 23-26 août.

3. CONSIDÉRATIONS SUR LES RÉSULTATS OBTENUS ET CONCLUSIONS

Comme on peut l'observer sur les graphiques des figures 35, 36 et 37, le modèle de trafic montre une très bonne prédiction du climat acoustique généré par le trafic de véhicules dans les trois stations phonométriques. La formation du modèle neuronal était basée sur un segment temporel composé des 1400 premières minutes, tandis que les 2600 minutes restantes étaient exclues de la procédure de formation et étaient donc 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 de 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. Cette capacité correspond à la capacité de prédiction du réseau à fournir des valeurs et des tendances correctes en réponse à de nouveaux scénarios de trafic par rapport à ceux trouvés dans le segment de temps utilisé dans la phase de formation. Comme on peut l'observer pour les trois endroits, le modèle présente une excellente capacité de généralisation pour toutes les périodes de référence du jour, du soir et de la nuit. L'erreur absolue est toujours bien inférieure à la valeur de 1 décibel tout au long de la "ligne de temps" de la campagne de mesure. En particulier, en ce qui concerne la station de mesure en position A, il est possible de résumer les résultats suivants:

Période douce (Figure I.15)

segment de temps de la phase de formation: l'écart entre les données expérimentales et les valeurs simulées est pratiquement nul.

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

Période de pointe (Figure I.16)

segment de temps de la phase de formation: l'écart entre les données expérimentales et les valeurs simulées est pratiquement nul.

segment temporel de la phase de test et de 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 de faible activité et de pointe, il est intéressant d'observer une légère dégradation de la performance du modèle dans sa capacité à prévoir les tendances par rapport à la période de pointe, à tous les endroits. Cet aspect était prévisible car il peut raisonnablement s'expliquer par une augmentation significative de l'activité anthropique pendant la période de pointe du mois d'août. L'Olbia pendant la période de pointe est vécu différemment de la période creuse. Toute la ville, en particulier les rues du front de mer, est soumise à un flux intense de piétons qui marchent pour visiter des

commerces qui prolongent leurs heures d'ouverture jusqu'à la nuit. Au-delà des activités commerciales fixes qui font partie de l'environnement construit, il s'ajoute un nombre considérable de stands à celui ouvert le long de toute la rue Prince Umberto, qu'ils attirent de nombreux passants jusqu'à remplir uniformément la promenade du trottoir. Par conséquent, le bruit de la circulation automobile se superpose aux sources de bruit liées à la présence d'un flux constant de personnes marchant et stationnant dans des lieux de rencontre en plein air. Les considérations précédentes sont confirmées par le fait que la dégradation des performances se produit en plein dans les "points de selle" de la période nocturne, juste au moment où commence la vie du touriste qui se promène, fréquente les espaces et utilise les services et les attractions de la ville. Cependant, il convient de noter que la dégradation des performances est réellement marginale par rapport à l'ensemble des 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 superposé au bruit du trafic automobile. En effet, dans les différentes conditions environnementales, de circulation et de bruit de fond (toujours de nature anthropique mais non imputable à la circulation automobile), pour toutes les stations phonométriques et dans les deux conditions (douce et de pointe), le modèle a pu prédire des valeurs de $L_{eq,A}$ adhérent aux valeurs mesurées expérimentalement, tant 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 diverse : dans l'une d'entre elles, il y a principalement des véhicules se déplaçant à vitesse élevée et constante ; dans l'autre, il y a des véhicules à faible vitesse et en manœuvre, souvent dans des conditions de trafic encombré ; et enfin dans la troisième, en plus des conditions de trafic automobile erratiques, il y a les sources dues aux activités de travail sur la place adjacente à la mairie, à la restauration, aux divertissements et aux activités commerciales à proximité de la station. Pour le côté portuaire de la ville d'Olbia, il a été possible de mettre en place un modèle de bruit de trafic montrant les performances que nous avons décrites. Actuellement, des modèles similaires formés à partir de 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 apprécier quels éléments peuvent définir et caractériser une méthodologie générale de mise en œuvre dans différents contextes. L'approfondissement de la recherche comprendra la mise en œuvre du modèle de prévision également dans le domaine des fréquences, par la formation à la reconnaissance spectrale. Cette nouvelle étape 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 neural 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 aux limites sont fixées par la géométrie de l'orographie du territoire et de l'environnement bâti et par les propriétés acoustiques des matériaux impliqués. Évidemment, pour le modèle physique de la propagation, ces informations sont indispensables pour une modélisation correcte du phénomène trafic - climat acoustique. Bien que non indispensable, le modèle neuronal pourrait également être complété avec de telles informations dans le but d'accroître sa robustesse. Les recherches développées jusqu'à présent laissent entrevoir de nombreuses implications et évolutions qui méritent d'être poursuivies. En fait, les résultats de cette première phase sont très réconfortants et révèlent une bonne base sur laquelle développer d'autres études.

SECTION II. CONSTRUCTION DU MODÈLE DE TRAFIC AVEC LE LOGICIEL SUMO

1. INTRODUCTION

Cette section définit le processus méthodologique et les résultats obtenus à partir de la réalisation 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 front de mer du port pendant les périodes creuses et de pointe. Une fois calibré, le modèle permettra, par rapport à des scénarios de trafic hypothétiques déterminés aux heures de pointe d'embarquement et de débarquement des navires à passagers dans le port d'Olbia, d'évaluer les flux de trafic (dans ses composantes caractéristiques) sur les différentes sections du réseau routier. Ces flux constitueront les données d'entrée pour le modèle prédictif trafic-bruit développé avec les réseaux de neurones, qui permettra de déterminer l'impact sonore que ce scénario de réaménagement aura sur certains points sensibles du front de mer du port. L'étude illustrée dans cette section a porté sur

1. l'analyse des flux de mobilité actuels, par le biais de l'enquête sur les tronçons de route et les intersections;
2. la construction du modèle de simulation du trafic sur la base des données d'enquête sur l'état actuel du pic et des périodes douces de 2019.

2. ENQUÊTES SUR LA CIRCULATION DES VÉHICULES

Pour l'analyse des flux de véhicules dans la zone examinée, 15 sections d'enquête et 8 intersections ont été installées, dont la position est indiquée sur la Figure II.1

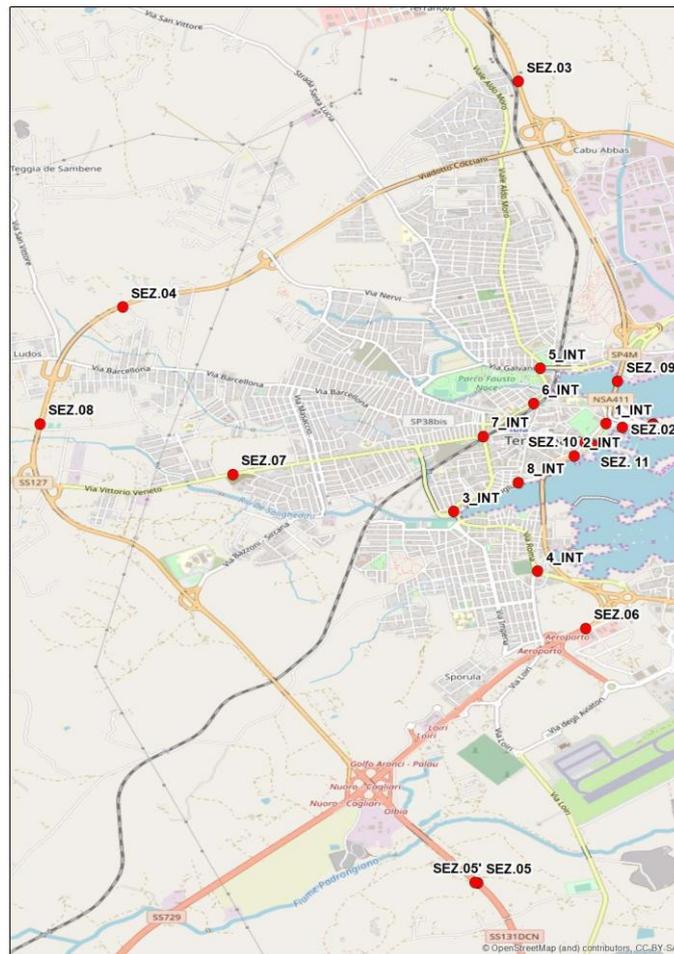


Figure II.1 Localisation des sections pertinentes - intersections

La Tableau II.1 fornisce il dettaglio sulla localizzazione delle postazioni di rilievo.

Identifiant	Posizion
Section 1	Via Banchina Isola Bianca_direzione Olbia centro
Section 1'	Via Banchina Isola Bianca_direzione Porto
Section 2	Viale Isola Bianca
Section 3	SS 125
Section 4	Circonvallazione 3 Olbia
Section 5	SS 131 DCN accesso Sud_direzione Nord
Section 5'	SS 131 DCN accesso Sud_direzione Sud
Section 6	SS 597 Logudoro
Section 7	SS 127 Settentrionale Sarda
Section 8	Circonvallazione 1 Olbia
Section 9	SS 125 ingresso Nord
Section 10	Viale Principe Umberto
Section 11	Via. Poltu Ezzu
Section 12	E840 accesso Olbia
Section 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	Passaggio a livello Via D' Annunzio- Via Aldo Moro- Via Nanni
Inters. 7	Passaggio a livello Corso Umberto I- Via S. Sepolcro – Corso V. Veneto- Via Mameli
Inters. 8	Via Re di Puglia- Via Regina Elena- Via Nuoro

Tableau II.1 Emplacement des sections et des intersections pertinentes

Dans les sections, les flux de trafic ont été effectués dans un intervalle de 24 heures tandis que dans les intersections, il a été fait référence aux manœuvres détectées aux heures de pointe du matin et du soir (7:30-9:00, 17:30-19:00). L'analyse a été menée en divisant les véhicules en trois catégories:

- les véhicules légers;
- les véhicules lourds;
- les motos.

2.1 Période d'automne

La Figure II.2 représente graphiquement le MEE de chaque section, distingué par type de véhicule.

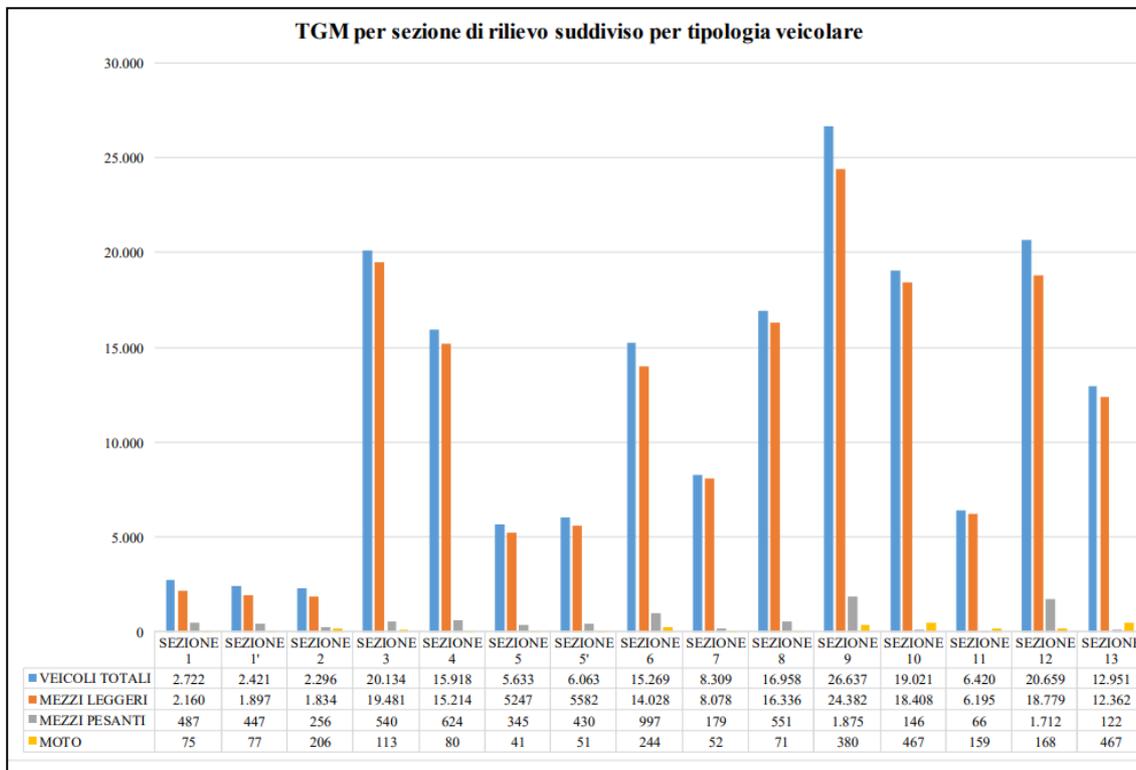


Figure II.2 TGM des sections_période d'automne

Le Tableau II.2 fournit des données indicatives sur le MTC détecté par les sections à l'automne.

Tendance TGM	
Section	Veic/g
9	Sur 26.000
12	Approx. 20.600
3	Approx. 20. 000
4 , 6, 8 e 10	valeur comprise entre 15.000 et 20. 000
Autres sections	valeurs inférieures à 10.000

Tableau II.2 Valeurs TGM dans les sections_période d'automne

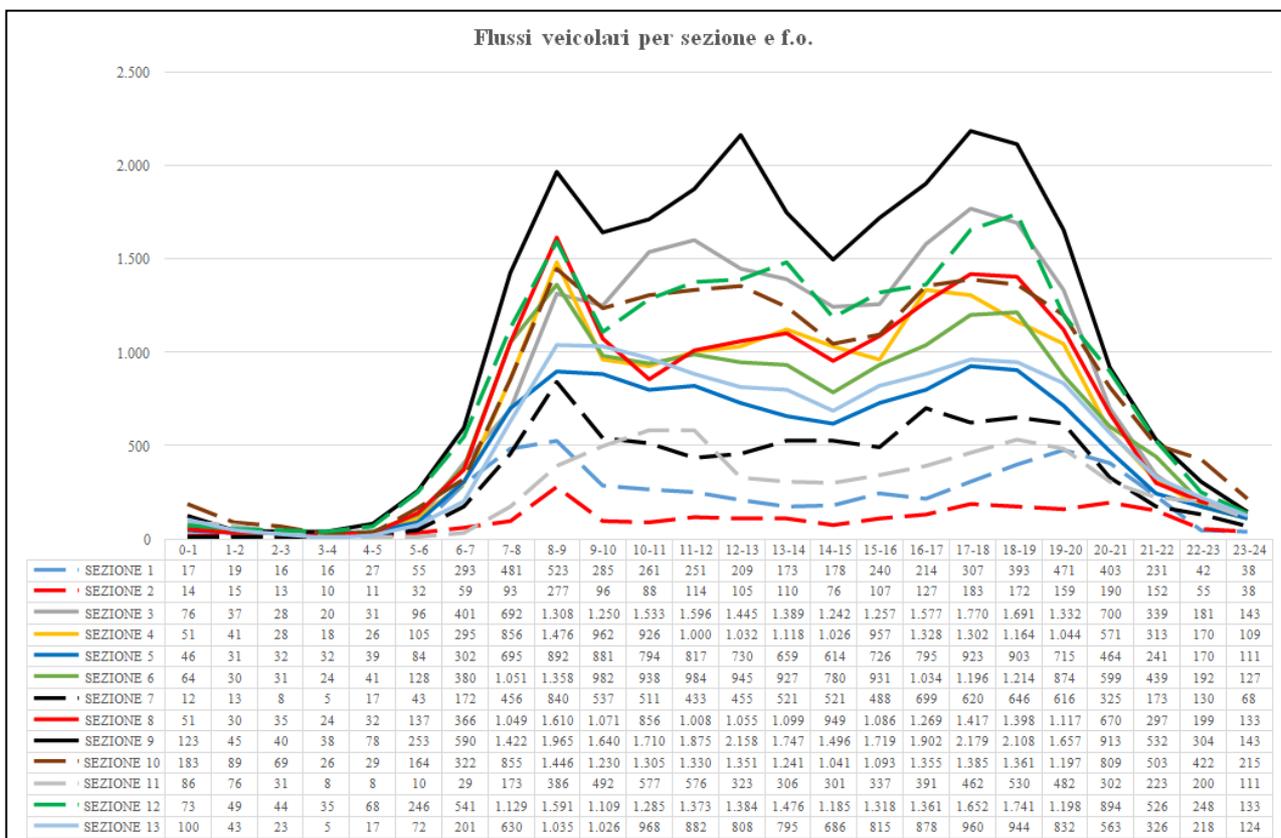


Figure II.3 Comparaison des courbes de temps de la période sections_automne

Le Tableau II.3 montre les valeurs maximales enregistrées par les courbes horaires représentées dans la Figure II.3 pour chaque section d'enquête et avec la bande de temps de référence respective.

Courbes de temps_Période d'automne ¹		
Section	Valeurs maximales [vei/h]	Créneau horaire de référence
1	523	8:00÷ 9:00
	471	19:00÷ 20:00
2	277	8:00÷ 9:00

¹ Toutes les sections de la période nocturne 0÷6 ont une charge de véhicules inférieure à 200 veic/h.

	190	20:00 ÷ 21:00
3	1.600	10:00 ÷ 12:00
	770	17:00 ÷ 18:00
4	1.476	8:00 ÷ 9:00
	1.300	16:00 ÷ 18:00
5	900	8:00 ÷ 9:00
	>900	17:00 ÷ 19:00
6	1.358	8:00 ÷ 9:00
	1.200	17:00 ÷ 19:00
7	1.965	8:00 ÷ 9:00
	2.158	12:00 ÷ 13:00
	699	16:00 ÷ 17:00
8	1.610	8:00 ÷ 9:00
	1.400	17:00 ÷ 19:00
9	2.500	9:00 ÷ 13:00
	>2.100	17:00 ÷ 19:00
10	1.466	8:00 ÷ 9:00
11	580	10:00 ÷ 12:00
	530	18:00 ÷ 19:00
12	1.741	18:00 ÷ 19:00
13	1.030	8:00 ÷ 9:00
	>900	17:00 ÷ 19:00

Tableau II.3 Courbes horaires. Valeurs maximales et périodes de référence_ Période d'automne

2.2 Période estivale

Le graphique de la Figure II.4 montre la tendance du MEE pour chaque section de l'enquête et en référence aux trois typologies de véhicules. Le Tableau II.4 indique les valeurs maximales enregistrées par les différentes sections.

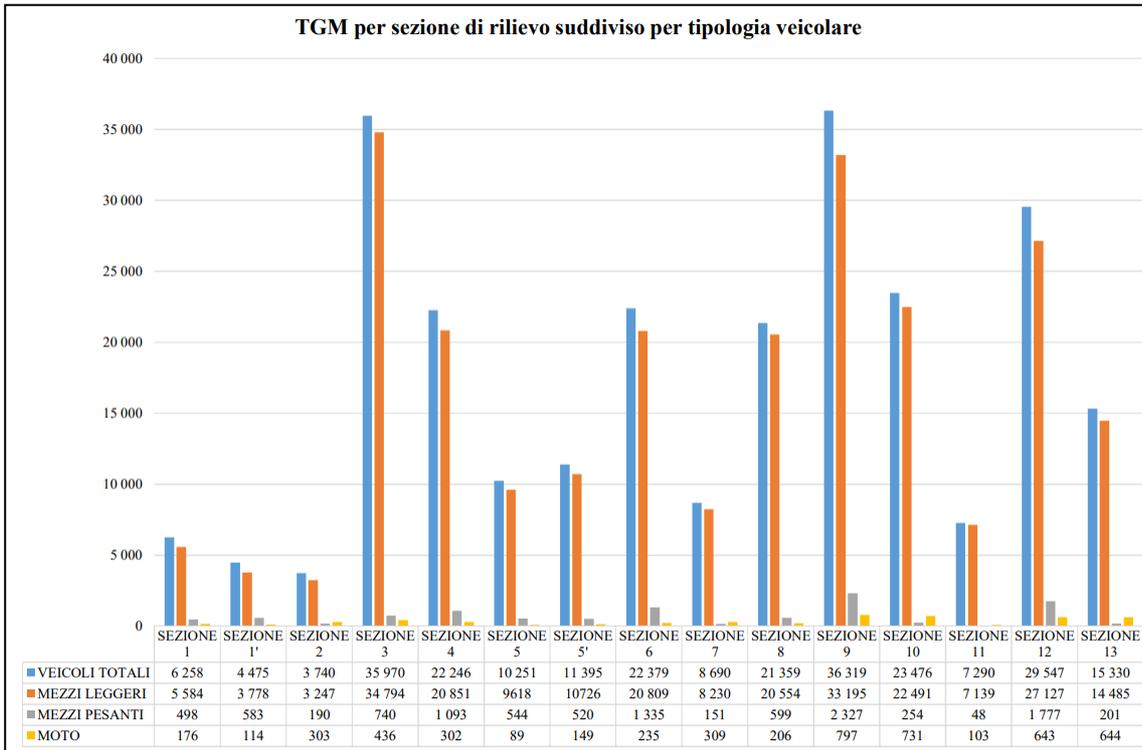


Figure II.4 TGM des sections_période estivale

Tendance TGM	
Section	véhicules/jour
3	Sur 36.000
9	Sur 36.000
12	Approx. 30.000
4,6,8,10	valeur comprise entre 20.000 et 25.000
13	Approx. 15.000
Autres sections	valeurs inférieures à 15.000 ²

Tableau II.4 Valeurs TGM dans les sections de la période estivale

² Valeur minimale dans la section 2 avec 3.740 véhicules/jour

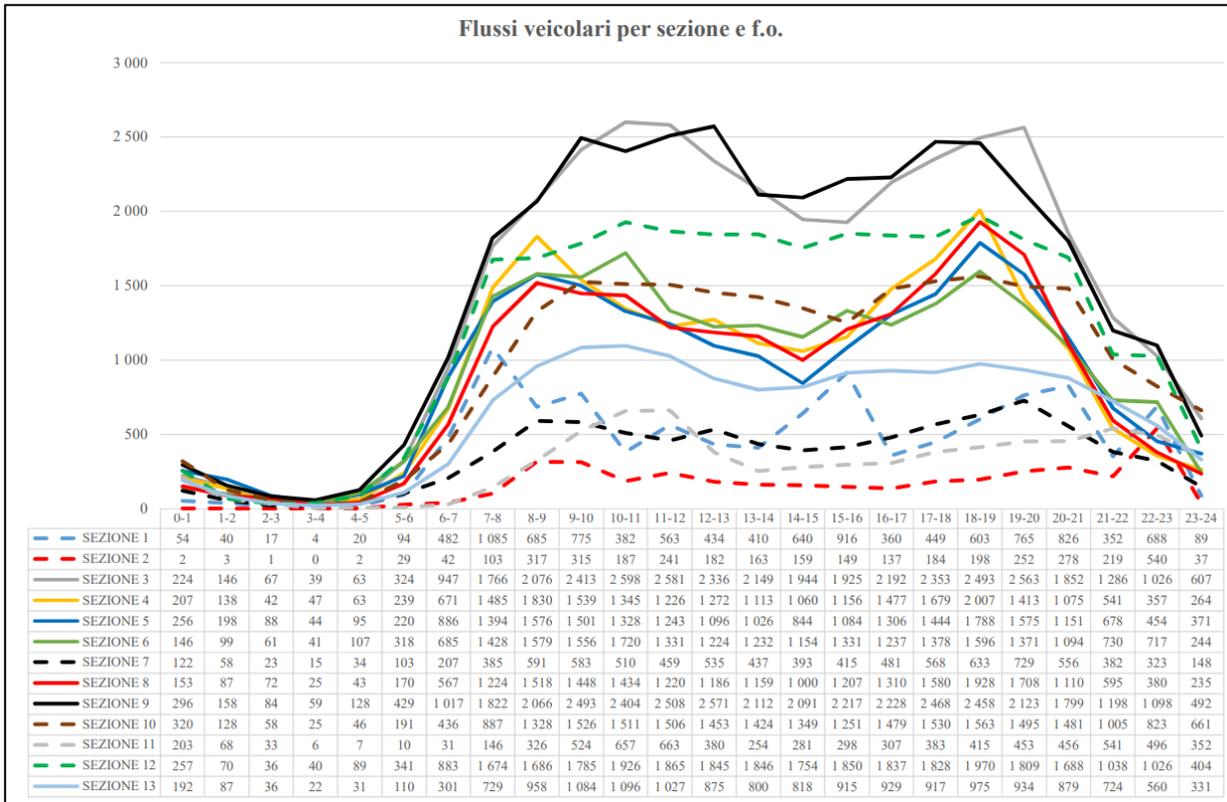


Figure II.5 Comparaison des courbes de temps des sections_période estivale

Tendance des courbes de temps ³		
Section	Valeurs maximales [véhicules/heure]	Créneau horaire de référence
1	1.085	7:00÷ 8:00
	916	15:00÷ 16:00
	826	20:00÷ 21:00
2	540	22:00÷ 23:00
	>2500	10:00÷ 12:00
3	2.563	19:00÷ 20:00
	1.830	8:00÷ 9:00
4	2.493	18:00÷ 19:00
	1.576	8:00÷ 9:00
5	1.788	18:00÷ 19:00
	1.720	10:00÷ 11:00
6	1.596	18:00÷ 19:00
	729	19:00÷ 20:00
7	1.518	8:00÷ 9:00
	1.928	18:00÷ 19:00
8	Approx. 2.500	9:00÷ 13:00
	<2.500	17:00÷ 19:00
10	1.563	18:00÷ 19:00

³ Toutes les sections de la période nocturne 0÷6 ont une charge de véhicules inférieure à 500 véhicules/heure.

11	Approx. 660	10:00÷ 12:00
	541	21:00÷ 22:00
12	Tendance constante, environ 1.800-1.900	9:00÷ 19:00
13	Approx. 1.100	9:00÷ 11:00
	Tra 900 e 1.000	15:00÷20:00

Tableau II.5 des courbes horaires. Valeurs maximales et périodes de référence_ Période estivale

2.3 Enquêtes sur les sections

En automne, 181.411 véhicules/jour ont été contrôlés, soit 29 % de moins qu'en été (258 725 véhicules/jour). Cette baisse 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/d contrôlés en automne est inférieur de 39% à celui de la période estivale, 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 la section où le nombre de véhicules détectés est le plus élevé au cours des deux périodes d'analyse (14%). Le nombre le plus faible de véhicules passant à la fois en automne et en 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 II.5 montre graphiquement la comparaison entre les deux périodes d'analyse, tandis que le Tableau II.6 fournit les valeurs mesurées pour chaque section et indique le pourcentage de variation entre les périodes d'été et d'hiver.

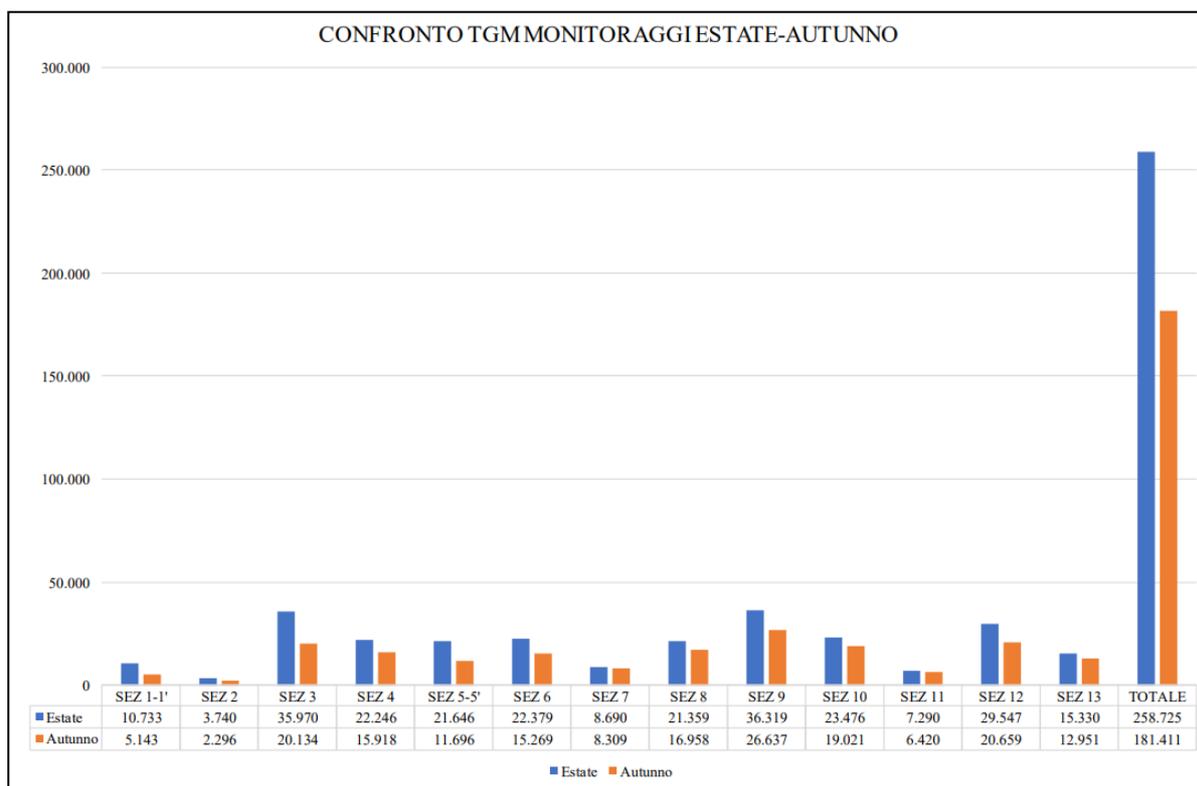


Figure II.6 comparaison été-automne des 13 sections de surveillance

Sezioni	Estate	Autunno	Var
SEZ 1-1'	10.733	5.143	-52,08%
SEZ 2	3.740	2.296	-38,61%
SEZ 3	35.970	20.134	-44,03%
SEZ 4	22.246	15.918	-28,45%
SEZ 5-5'	21.646	11.696	-45,97%
SEZ 6	22.379	15.269	-31,77%
SEZ 7	8.690	8.309	-4,38%
SEZ 8	21.359	16.958	-20,60%
SEZ 9	36.319	26.637	-26,66%
SEZ 10	23.476	19.021	-18,98%
SEZ 11	7.290	6.420	-11,93%
SEZ 12	29.547	20.659	-30,08%
SEZ 13	15.330	12.951	-15,52%
TOTALE	258.725	181.411	-29,88%

Tableau II.6 comparaison été-automne des 13 sections de surveillance

La courbe horaire cumulée, représentée à la Figure II.7, montre que les deux périodes de référence présentent des tendances similaires, avec deux pics correspondant aux heures de pointe. Alors qu'en été, l'heure de pointe du matin se situe dans la bande horaire entre 9:00 et 10:00 avec 17.452 vei/h, en automne, elle se situe dans la bande horaire entre 8:00 et 9:00 avec une valeur de 16.536 vei/h (-6%). En ce qui concerne l'heure de pointe du soir, en été, elle se situe dans la tranche horaire de 18:00 à 19:00 avec 18.627 vei/h alors qu'en automne, elle est identifiée dans une tranche horaire de deux heures, de 17:00 à 19:00 avec environ 14.300 vei/h (-23%).

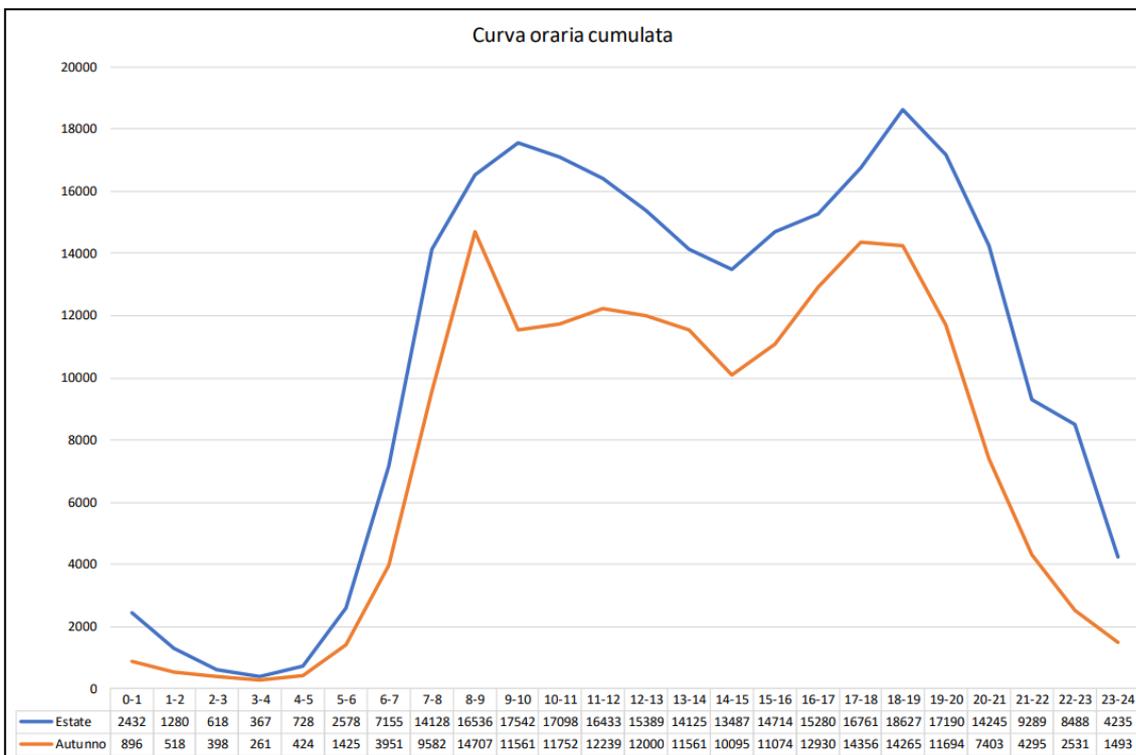


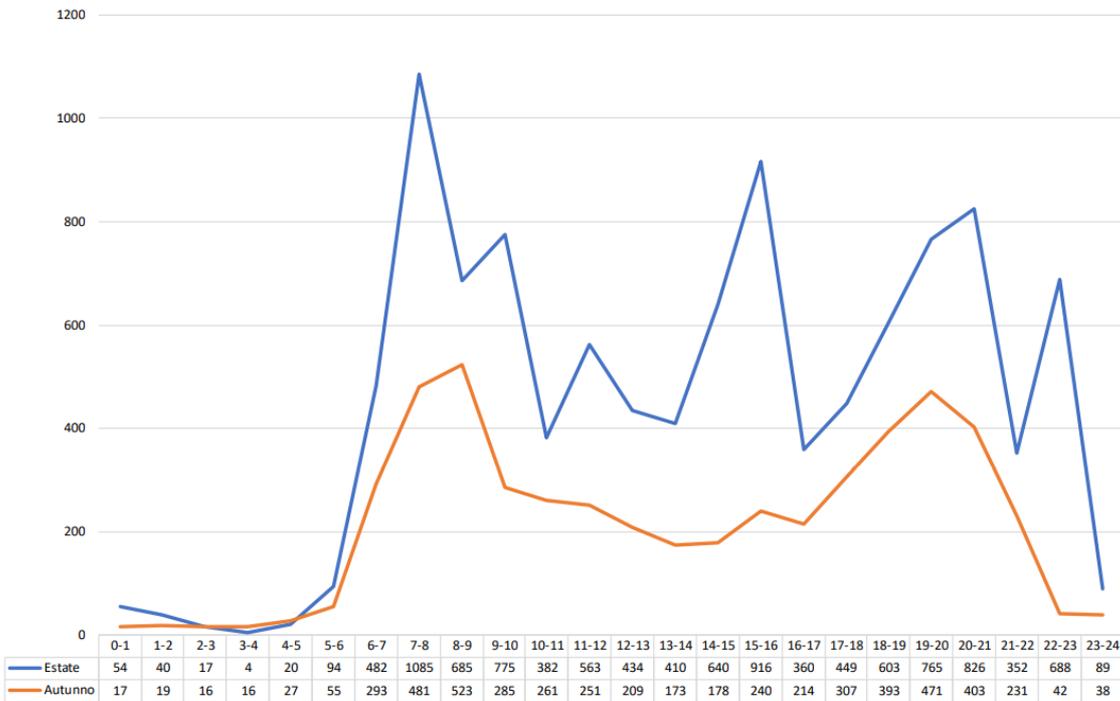
Figure II.7 Comparaison des deux courbes quotidiennes été-automne dans les 13 sections de l'enquête

2.3.1 Analyse d'une seule section

2.3.1.1 Sections 1-1'



Sezione 1-1'



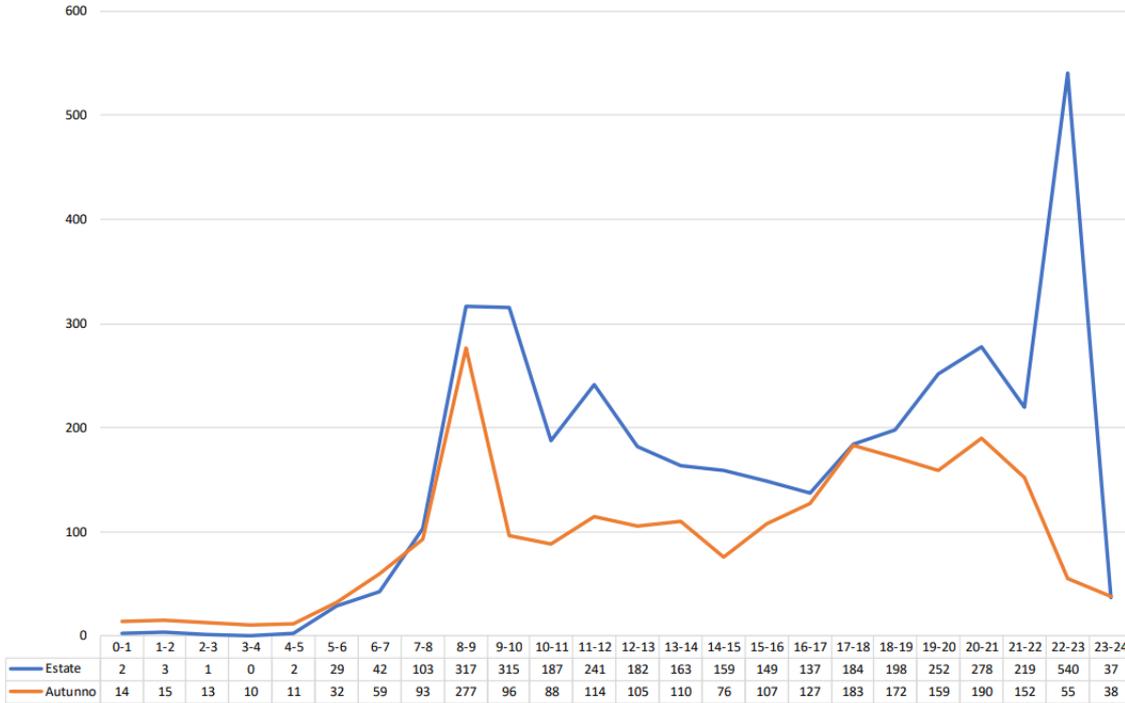
	Véhicules/heure	Heure de pointe	Véhicules/jour
Période estivale	1.085	7:00÷8:00	10.733
	916	15:00÷16:00	
	826	20:00÷21:00	
Période d'automne	523	8:00÷9:00	5.413
	471	19:00÷20:00	

Tableau II.7 Comparaison été-automne, section 1-1'

2.3.1.2 *Section 2*



Sezione 2



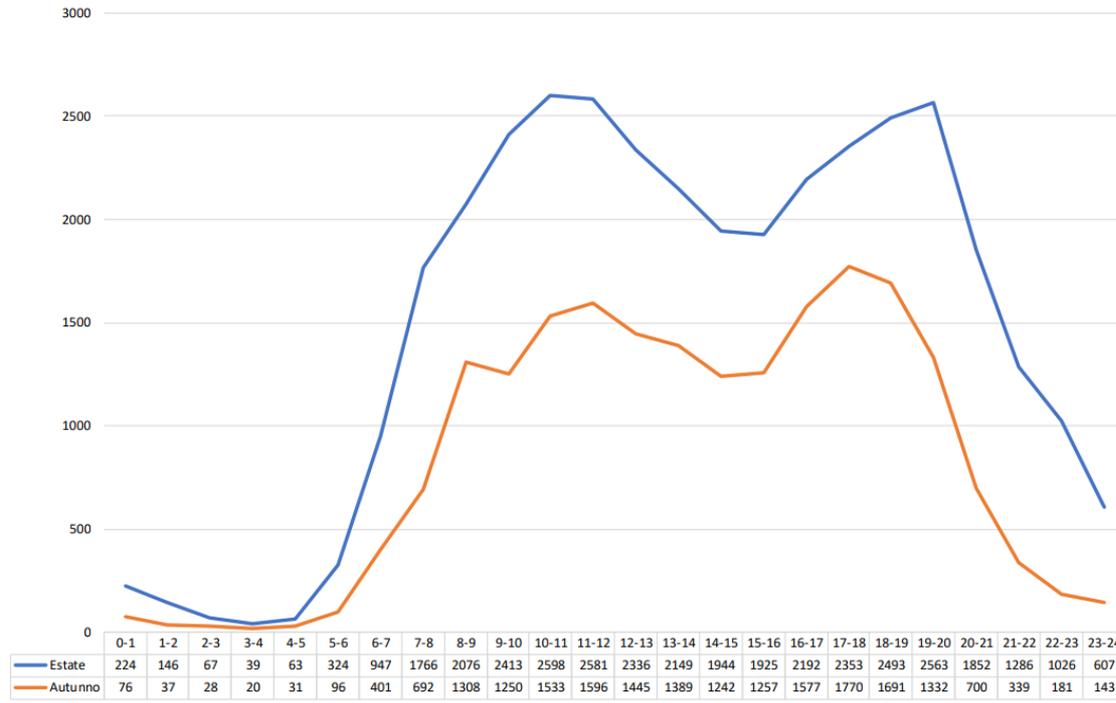
	Véhicules/heure	Heure de pointe	Véhicules/jour
Période estivale	317	8:00÷9:00	3.740
	278	20:00÷21:00	
Période d'automne	277	8:00÷9:00	2.296
	190	20:00÷21:00	

Tableau II.8 Comparaison été-automne section 2

2.3.1.3 Section 3



Sezione 3



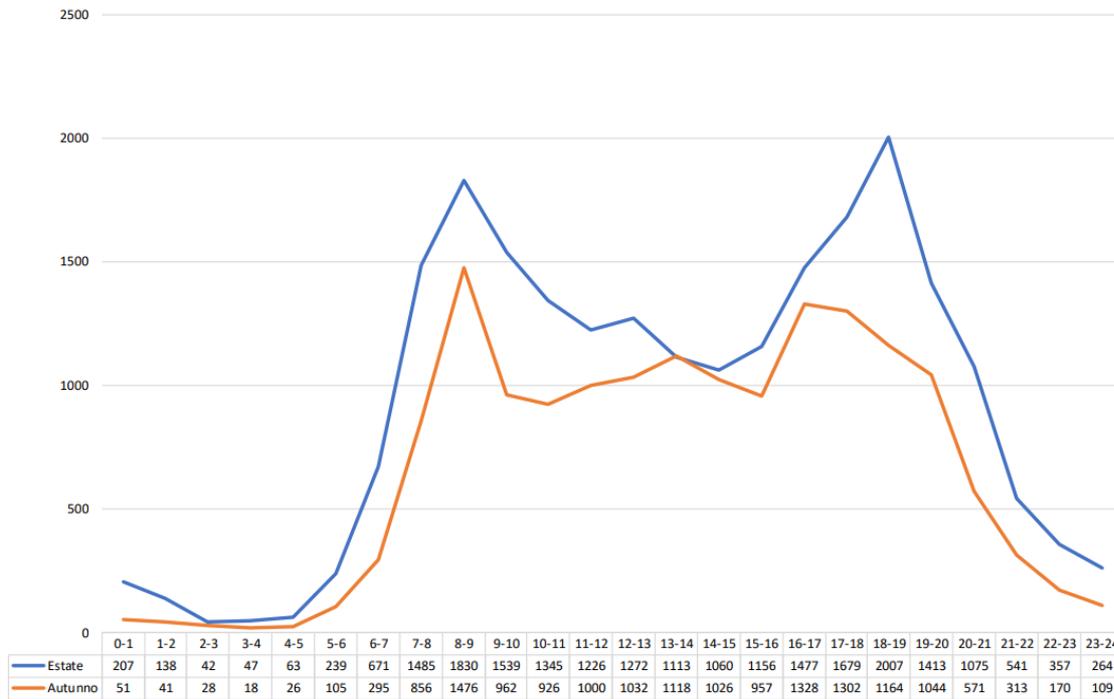
	Véhicules/heure	Heure de pointe	Véhicules/jour
Période estivale	2.598	10:00÷12:00	35.970
	2.563	19:00÷20:00	
Période d'automne	1.596	10:00÷12:00	20.134
	1.770	17:00÷18:00	

Tableau II.9 Comparaison été-automne section 3

2.3.1.4 *Section 4*



Sezione 4



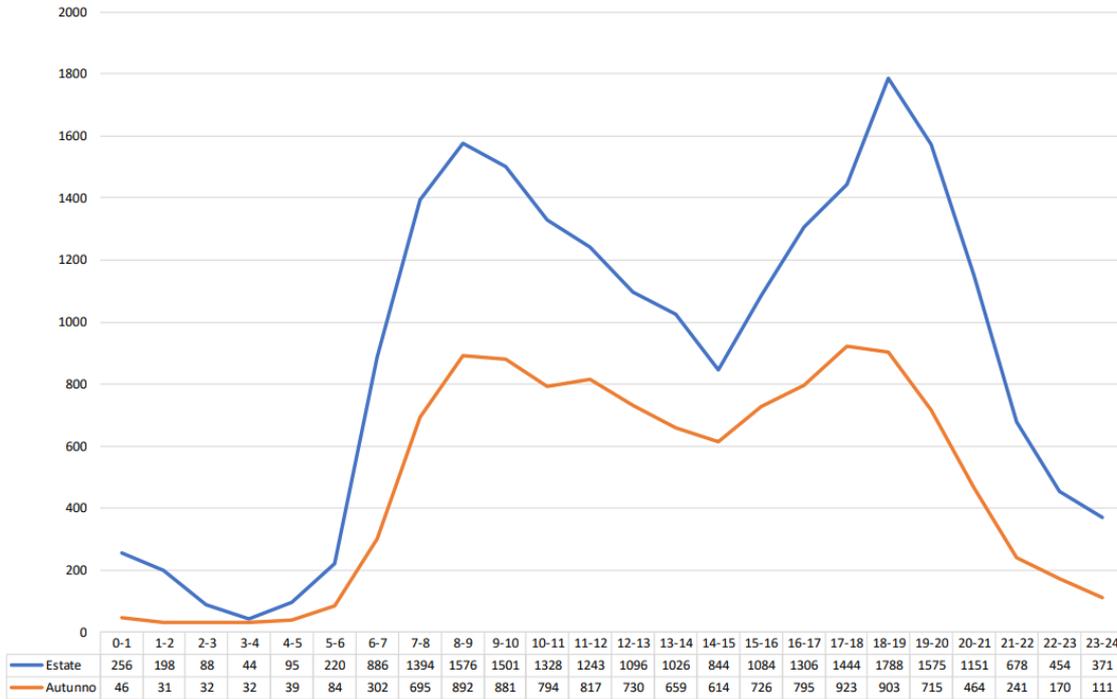
	Véhicules/heure	Heure de pointe	Véhicules/jour
Période estivale	1.830	8:00÷9:00	22.246
	2.007	18:00÷19:00	
Période d'automne	1.476	11:00÷12:00	15.918
	1.328	16:00÷18:00	

Tableau II.10 Comparaison été-automne section 4

2.3.1.5 *Section 5*



Sezione 5



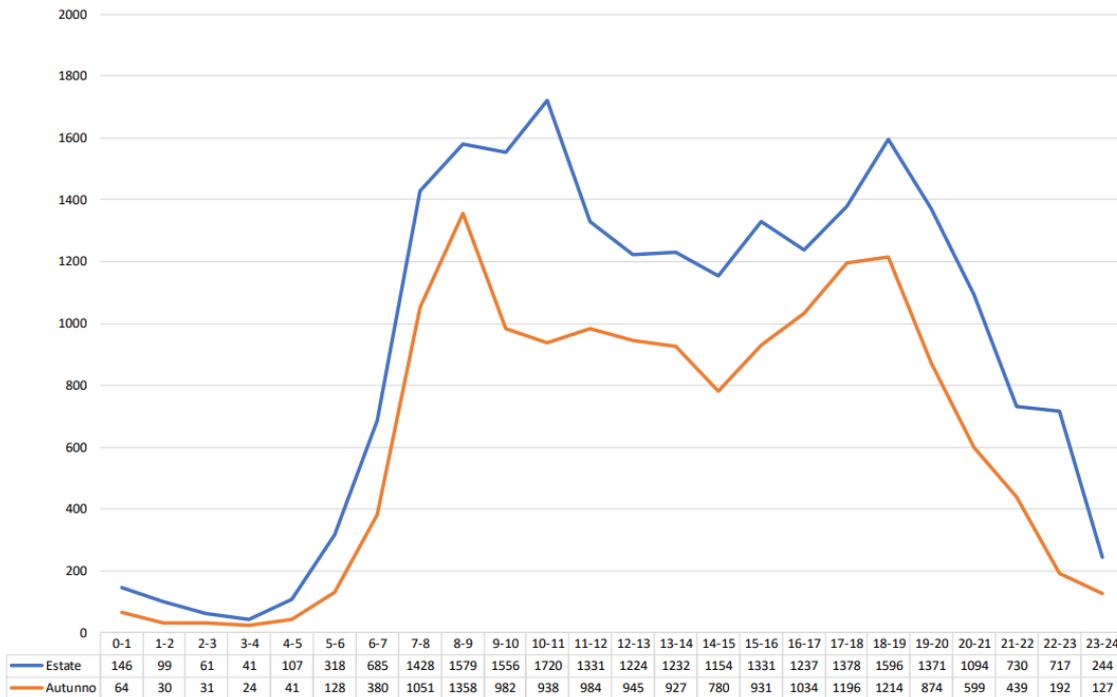
	Véhicules/heure	Heure de pointe	Véhicules/jour
Période estivale	1.576	8:00÷9:00	21.646
	1.788	18:00÷19:00	
Période d'automne	892	8:00÷9:00	11.696
	923	17:00÷18:00	

Tableau II.11 Comparaison été-automne section 5

2.3.1.6 Section 6



Sezione 6



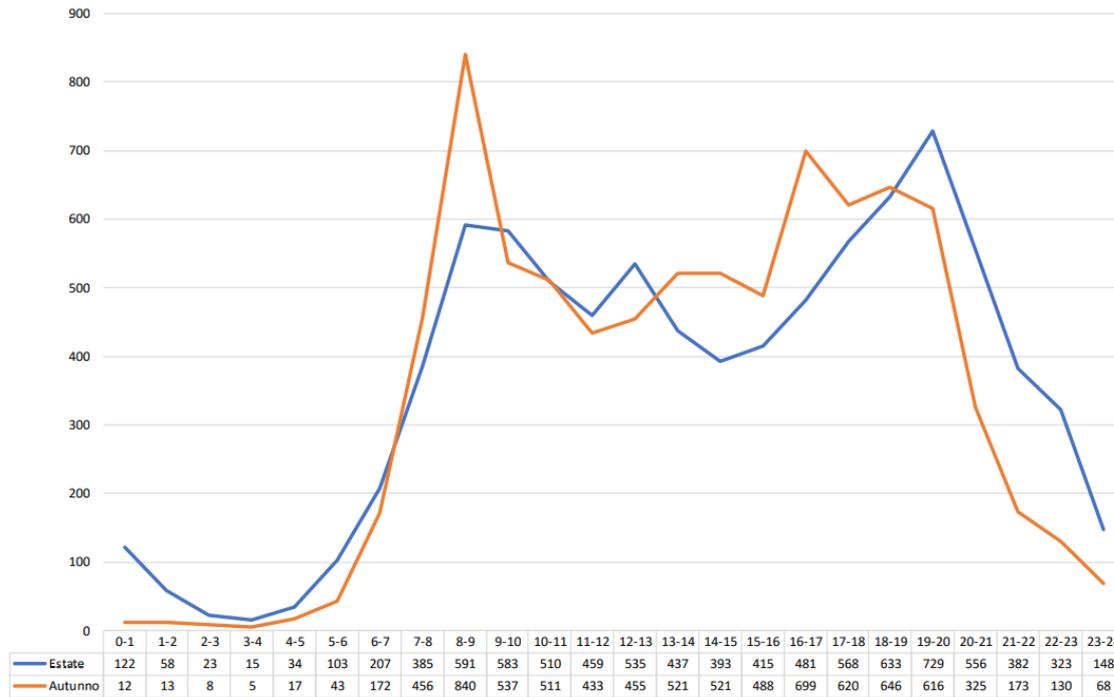
	Véhicules/heure	Heure de pointe	Véhicules/jour
Période estivale	1.579	8:00÷9:00	22.379
	1.596	18:00÷19:00	
Période d'automne	1.358	8:00÷9:00	15.269
	1.214	18:00÷19:00	

Tableau II.12 Comparaison été-automne section 6

2.3.1.7 Section 7



Sezione 7



	Véhicules/heure	Heure de pointe	Véhicules/jour
Période estivale	591	8:00÷9:00	8.690
	790	19:00÷20:00	
Période d'automne	840	8:00÷9:00	8.309
	699	16:00÷17:00	

Tableau II.13 Comparaison été-automne section 7

2.3.1.8 Section 8



Sezione 8



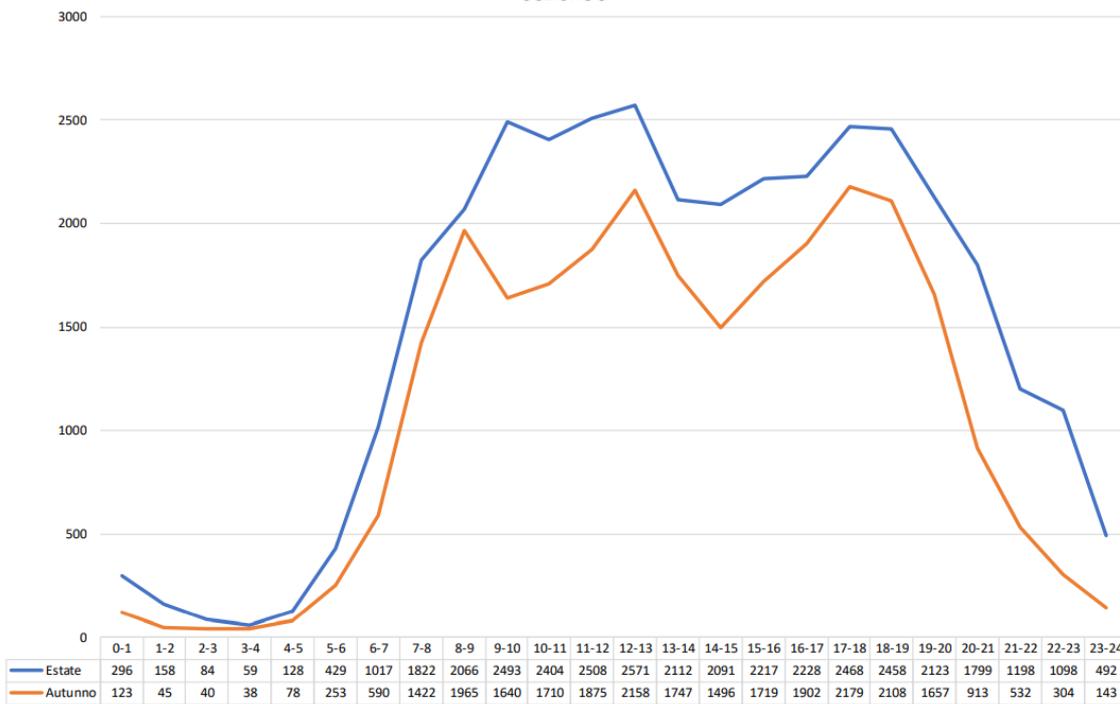
	Véhicules/heure	Heure de pointe	Véhicules/jour
Période estivale	1.518	8:00÷9:00	21.359
	1.928	18:00÷19:00	
Période d'automne	1.610	8:00÷9:00	16.958
	1.417	17:00÷18:00	

Tableau II.14 Comparaison été-automne section 8

2.3.1.9 Section 9



Sezione 9



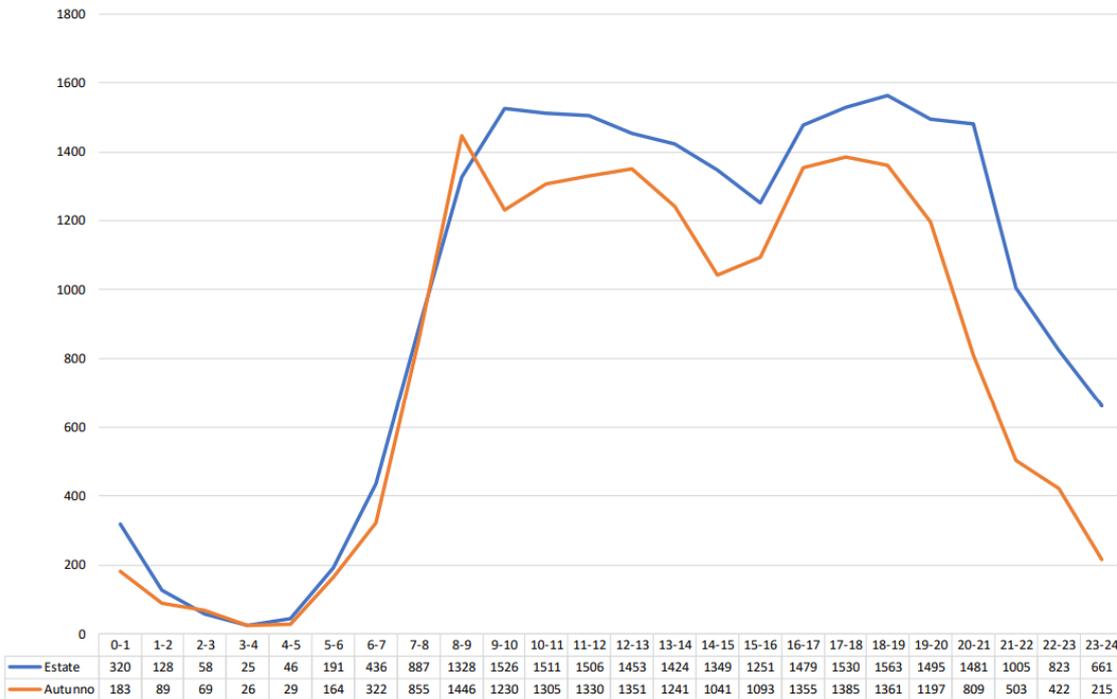
	Véhicules/heure	Heure de pointe	Véhicules/jour
Période estivale	2.493	9:00÷10:00	36.319
	2.571	12:00÷13:00	
	2.460	17:00÷19:00	
Période d'automne	1.965	8:00÷9:00	26.637
	2.158	12:00÷13:00	
	2.140	17:00÷19:00	

Tableau II.15 Comparaison été-automne section 9

2.3.1.10 Section 10



Sezione 10



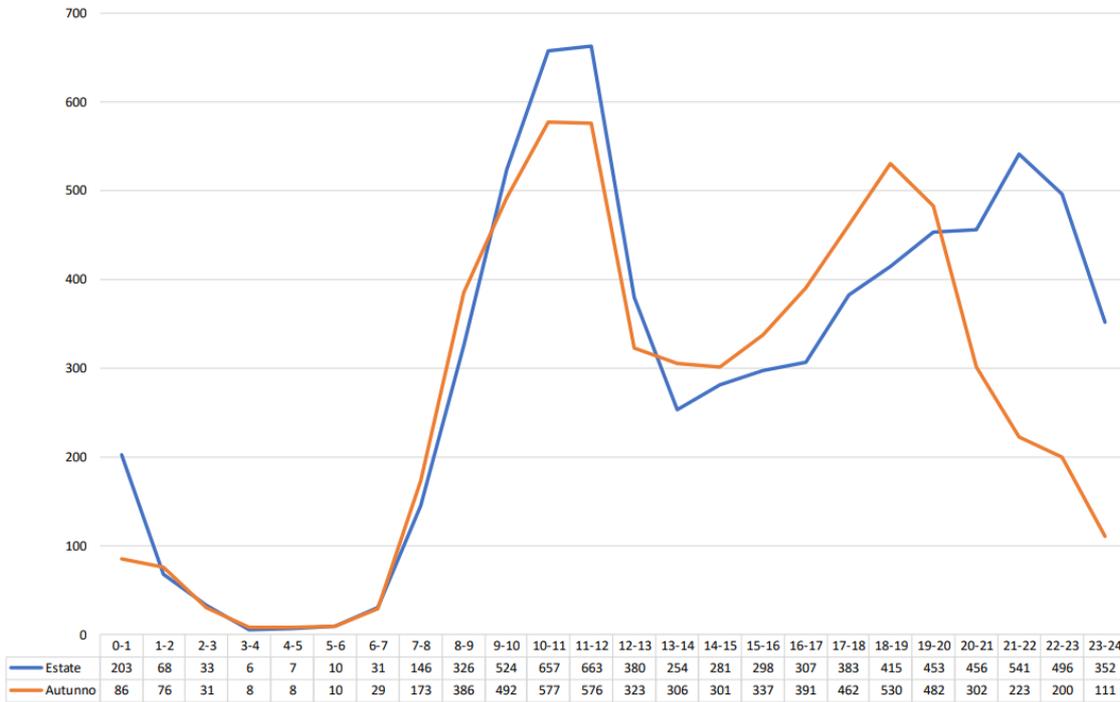
	Véhicules/heure	Heure de pointe	Véhicules/jour
Période estivale	1.526	9:00÷10:00	23.476
	1.563	18:00÷19:00	
Période d'automne	1.446	9:00÷10:00	19.021
	1.385	18:00÷19:00	

Tableau II.16 Comparaison été-automne section 10

2.3.1.11 Section 11



Sezione 11



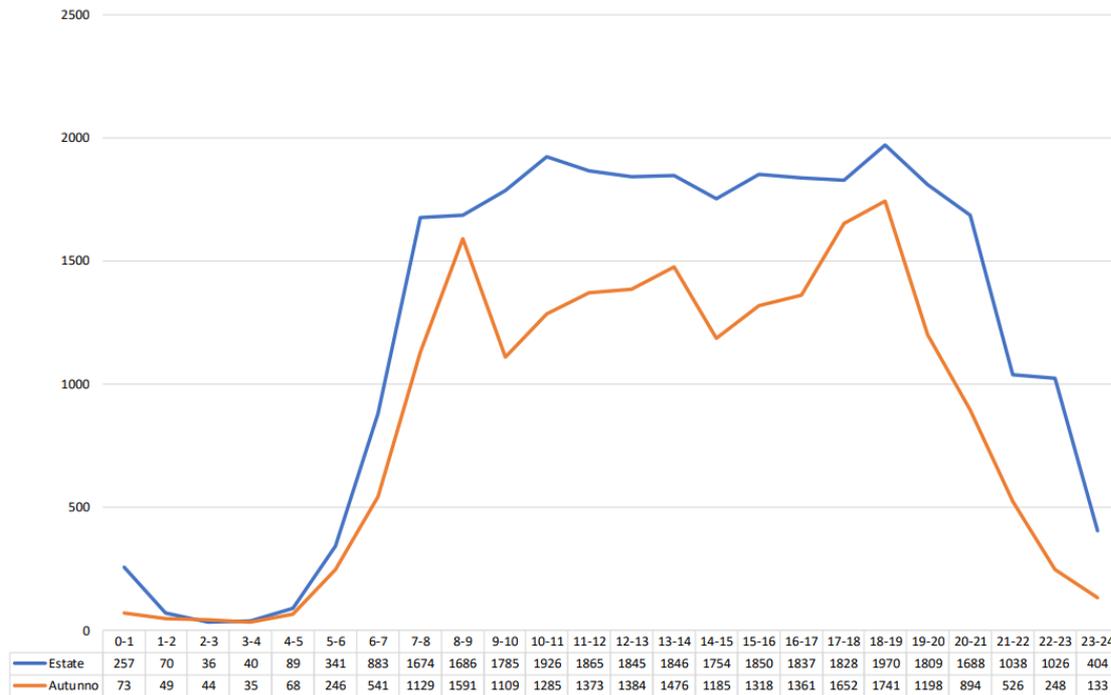
	Véhicules/heure	Heure de pointe	Véhicules/jour
Période estivale	660	10:00÷11:00	7.290
	541	21:00÷22:00	
Période d'automne	577	10:00÷11:00	6.420
	530	18:00÷19:00	

Tableau II.17 Comparaison été-automne section 11

2.3.1.12 Section 12



Sezione 12



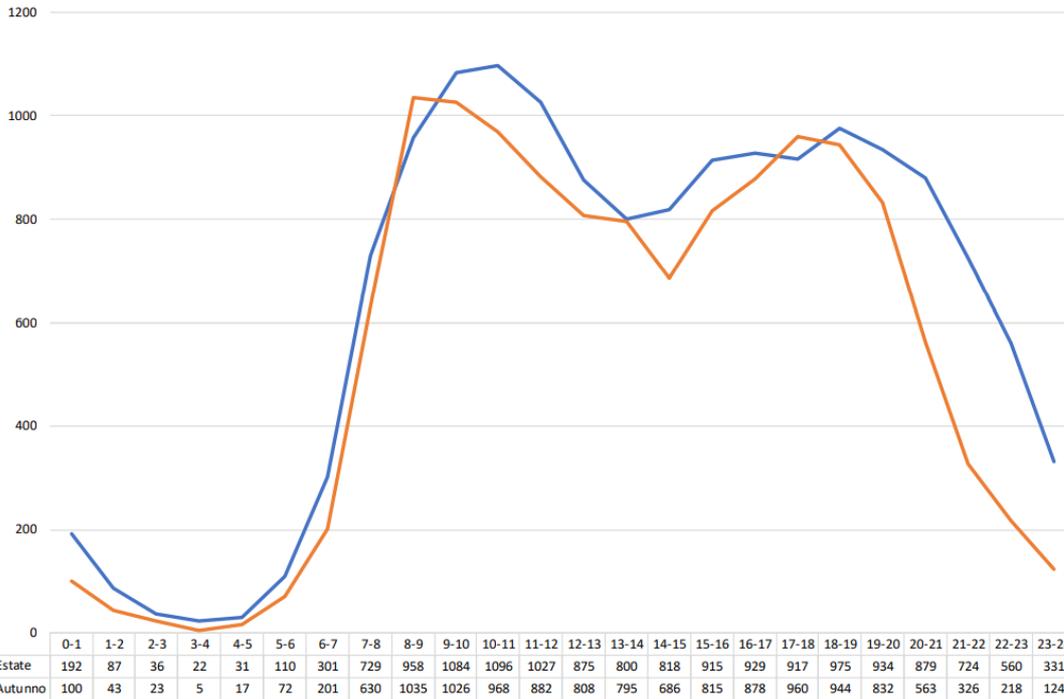
	Véhicules/heure	Heure de pointe	Véhicules/jour
Période estivale	1.926	10:00÷11:00	29.547
	1.970	18:00÷19:00	
Période d'automne	1.591	8:00÷9:00	20.659
	1.741	18:00÷19:00	

Tableau II.18 Comparaison été-automne section 12

2.3.1.13 Section 13



Sezione 13



	Véhicules/heure	Heure de pointe	Véhicules/jour
Période estivale	1.096	10:00÷11:00	15.330
	975	18:00÷19:00	
Période d'automne	1.035	8:00÷9:00	12.951
	960	17:00÷18:00	

Tableau II.19 Comparaison été-automne section 13

2.3.2 Enquêtes aux carrefours

La surveillance du débit des véhicules aux 8 carrefours examinés a été effectuée pendant deux périodes distinctes:

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

Les chiffres suivants montrent le cadre territorial des 8 nœuds analysés.



Figure II.8 Localisation des intersections 1

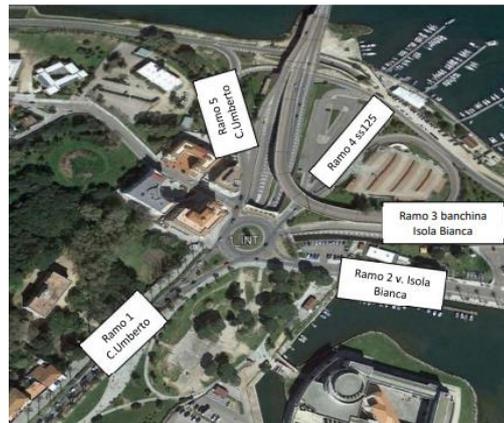


Figure II.9 Localisation des intersections 2



Figure II.10 Localisation des intersections 3



Figure II.11 Localisation des intersections 4

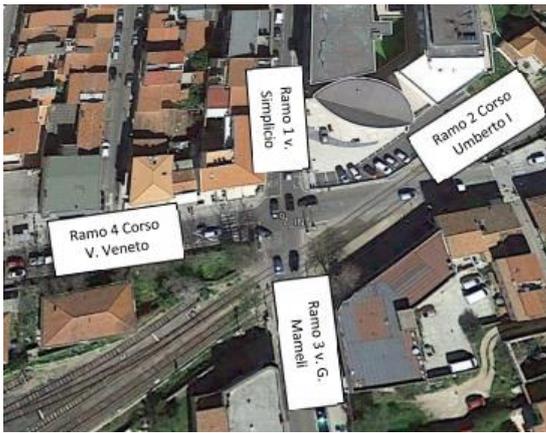


Figure II.12 Localisation des intersections 5



Figure II.13 Localisation des intersections 6



Figure II.14 Localisation des intersections 7



Figure II.15 Localizzazione intersezione 8

Dans la tranche horaire du matin, on comptait un total de 18.309 véhicules en été et 18.859 en automne, avec une différence de 3%. Dans la tranche horaire du soir, il y avait 19.980 véhicules en transit en été et 20 809 en automne, avec une différence de 4%. L'intersection la plus chargée en trafic était l'intersection 5, où plus de 3.400 véhicules sont passés. Les carrefours où la charge des véhicules était la plus faible étaient les numéros 6, 7 et 8, avec

des valeurs allant de 1.326 au carrefour 6 à l'heure de pointe du matin en été à 2.009 au carrefour 7 à l'heure de pointe du soir en automne. La Figure II.16 présente une comparaison du nombre de véhicules détectés dans la tranche horaire du matin entre les deux périodes d'analyse, l'été et l'automne.

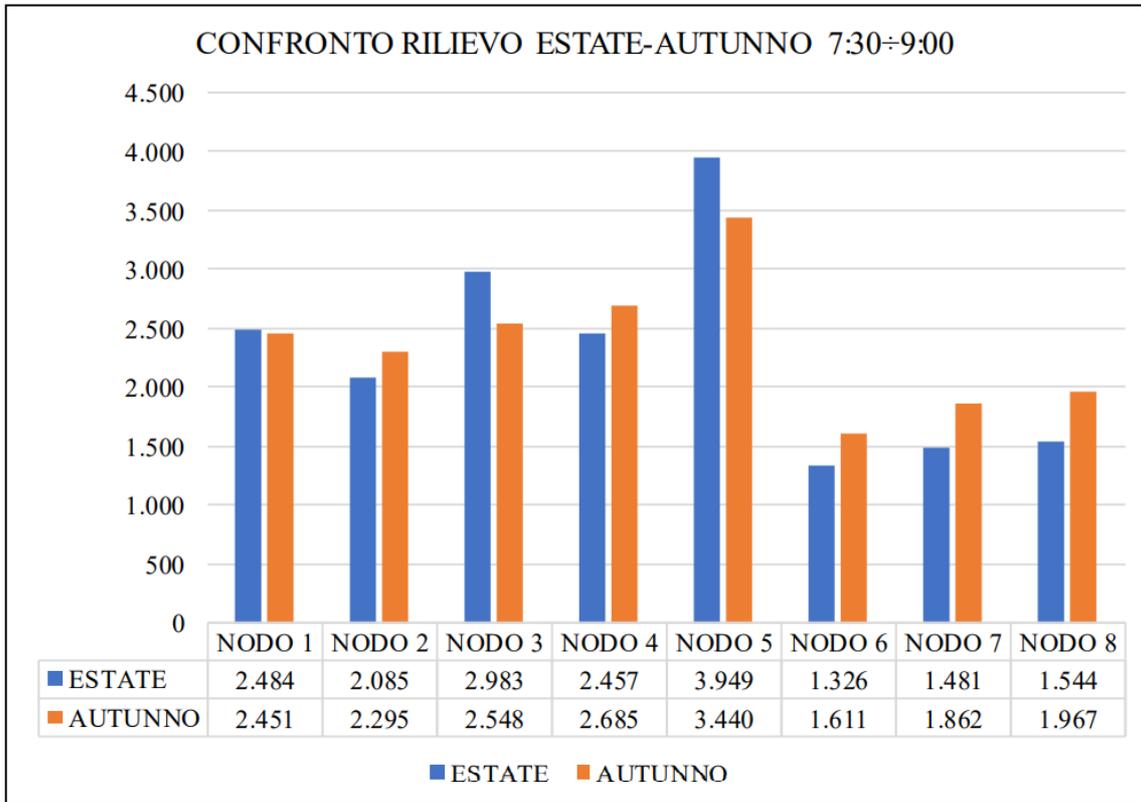


Figure II.16 Comparaison des secours d'été et d'automne 7:30÷9:00

Comme le montrent les tableaux suivants, en période estivale, l'heure de pointe aux nœuds 1 et 2 se situe dans la plage horaire comprise entre 7:30 et 8:30, contrairement aux autres carrefours, où la charge maximale des véhicules se situe entre 8:00 et 9:00. Il n'y a pas de différence entre les jonctions en ce qui concerne la période d'automne où l'heure de pointe correspond à la tranche horaire comprise entre 8:00 et 9:00.

	NODO 1	NODO 2	NODO 3	NODO 4	NODO 5	NODO 6	NODO 7	NODO 8
7:30÷8:30	1.708	1.400	1.781	1.564	2.489	844	945	984
8:00÷9:00	1.521	1.386	2.077	1.716	2.863	953	1.048	1.073

Figure II.17 Heures de pointe en été

	NODO 1	NODO 2	NODO 3	NODO 4	NODO 5	NODO 6	NODO 7	NODO 8
7:30÷8:30	1.604	1.548	1.574	1.780	2.208	1.077	1.163	1.349
8:00÷9:00	1.788	1.607	1.958	1.862	2.404	1.122	1.355	1.409

Figure II.18 Heures de pointe en automne

En ce qui concerne la période du soir, l'identification de l'heure de pointe est plus complexe en raison du décalage horaire entre les différents carrefours (Figure II.20 et Figure II.21).

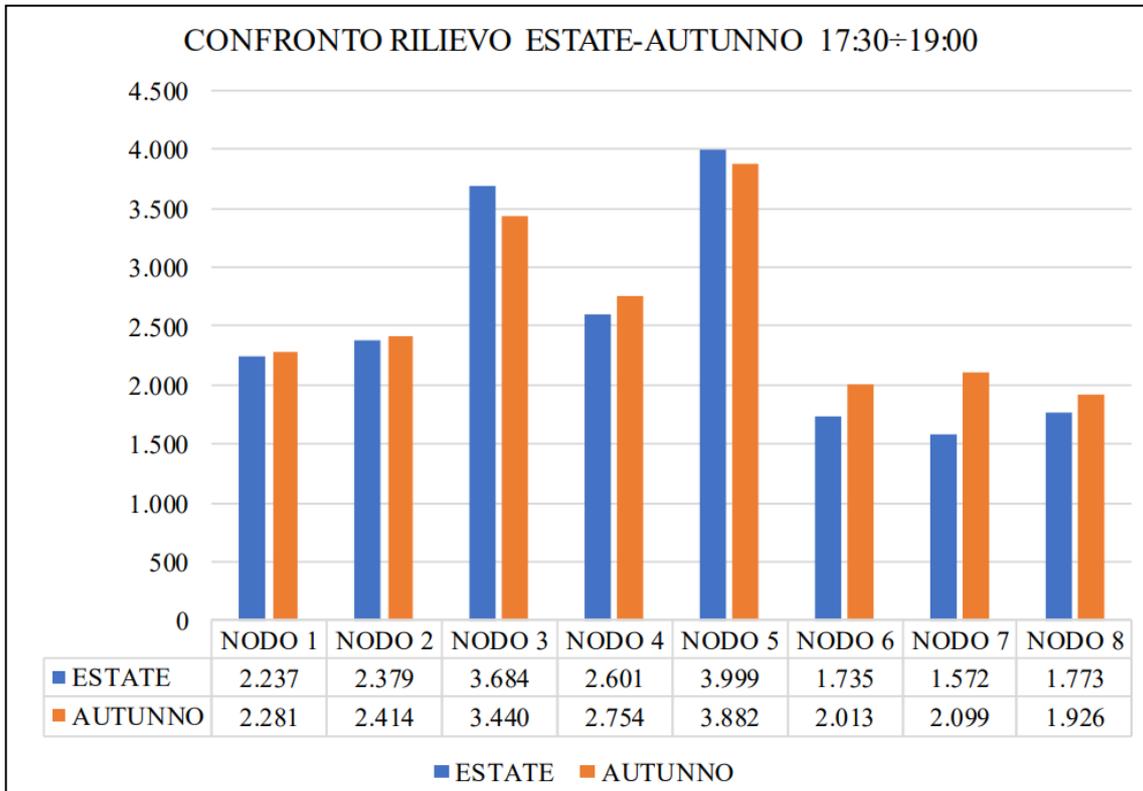


Figure II.19 Comparaison des secours d'été et d'automne 17:30÷19:00

	NODO 1	NODO 2	NODO 3	NODO 4	NODO 5	NODO 6	NODO 7	NODO 8
17:30÷18:30	1.569	1.571	2.452	1.741	2.669	1.125	1.003	1.172
18:00÷19:00	1.360	1.592	2.487	1.745	2.598	1.157	1.075	1.204

Figure II.20 L'heure de pointe de l'été_ Soirée

	NODO 1	NODO 2	NODO 3	NODO 4	NODO 5	NODO 6	NODO 7	NODO 8
17:30÷18:30	1.545	1.628	2.286	1.849	2.582	1.319	1.309	1.310
18:00÷19:00	1.574	1.605	2.302	1.799	2.614	1.354	1.371	1.249

Figure II.21 L'heure de pointe de l'été_ Soirée

3. LE MODÈLE DE SIMULATION

Les étapes fondamentales suivies pour le développement du modèle de simulation sont décrites ci-dessous.

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 /

Destination a été élaborée. Le graphique du réseau a ensuite été chargé dans le logiciel de simulation du système de trafic SUMO (paquet NetEdit). Les intervalles de temps sur lesquels l'analyse a été développée étaient, pour les périodes d'été et d'automne, les suivants :

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

Une fois la matrice O/D construite, elle a été corrigée en fonction des flux détectés, à l'aide du progiciel Marouter. Il effectue **une affectation à l'équilibre** stochastique de manière itérative. L'affectation stochastique de la charge du réseau, effectuée à chaque itération, est basée sur un modèle logit modifié (proposé par Lohse). Marouter fournit en sortie le fichier -olbia.netload.xml qui contient les flux, les temps de parcours moyens et le degré de saturation de chaque arc du graphique, 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 grâce à l'affectation des soldes ont été utilisés pour calculer le niveau de service de chaque arche routière, en analysant les retards et les flux de transit. Enfin, **une affectation dynamique** a été réalisée, utilisant le progiciel Duaiterate pour simuler les interactions directes entre les véhicules du réseau Olbia et leur variation, avec modification conséquente des niveaux de service du réseau routier, en fonction du temps.

3.1 Résultats du modèle à l'équilibre

Pour l'analyse des résultats obtenus à partir de l'affectation à l'équilibre, la valeur de la vitesse horaire moyenne de 10 km/h a été fixée comme seuil d'identification des conditions de congestion du trafic. Dans les figures suivantes, les flux de trafic exprimés en véhicules/heure aux heures de pointe du matin et du soir se référant à la période d'été et d'hiver sont représentés.

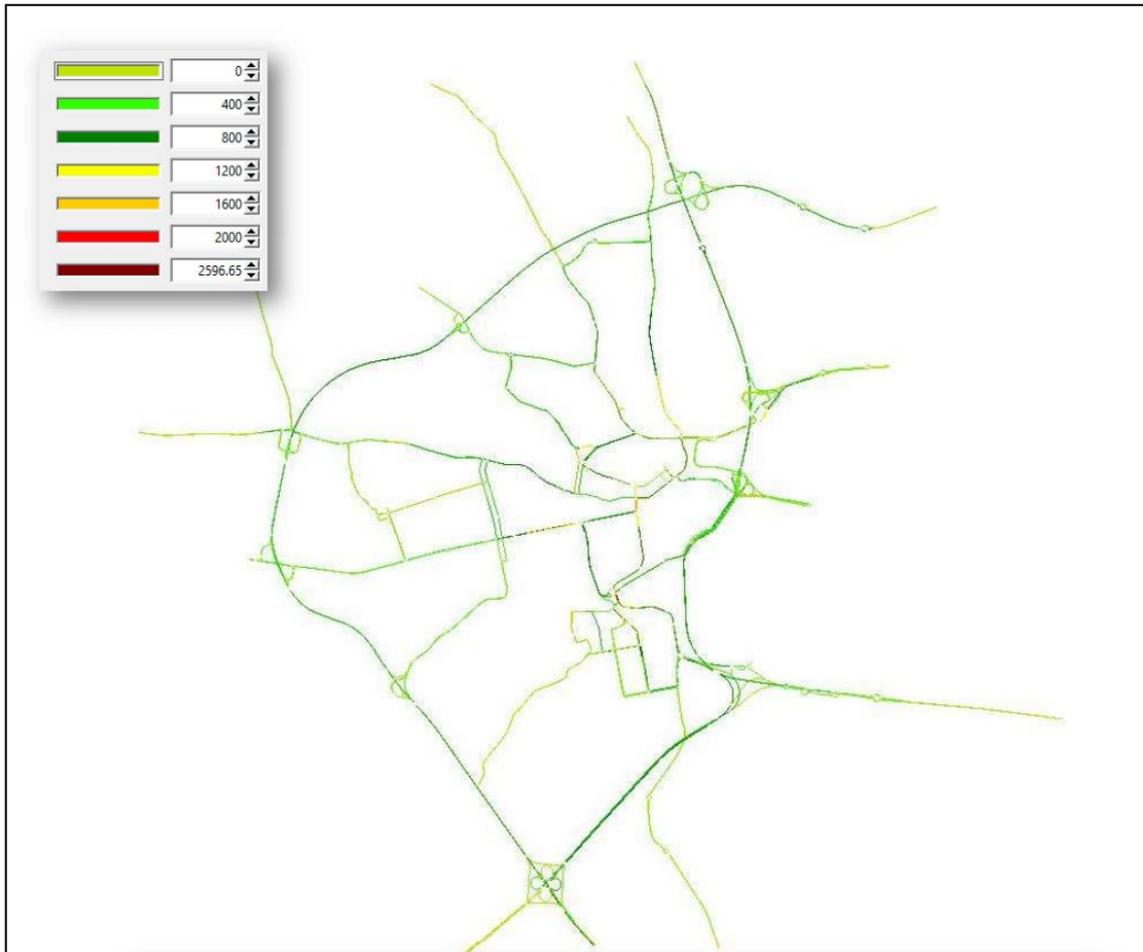


Figure II.22 Distribution des flux de trafic (véhicules/heure) à l'heure de pointe du matin d'été

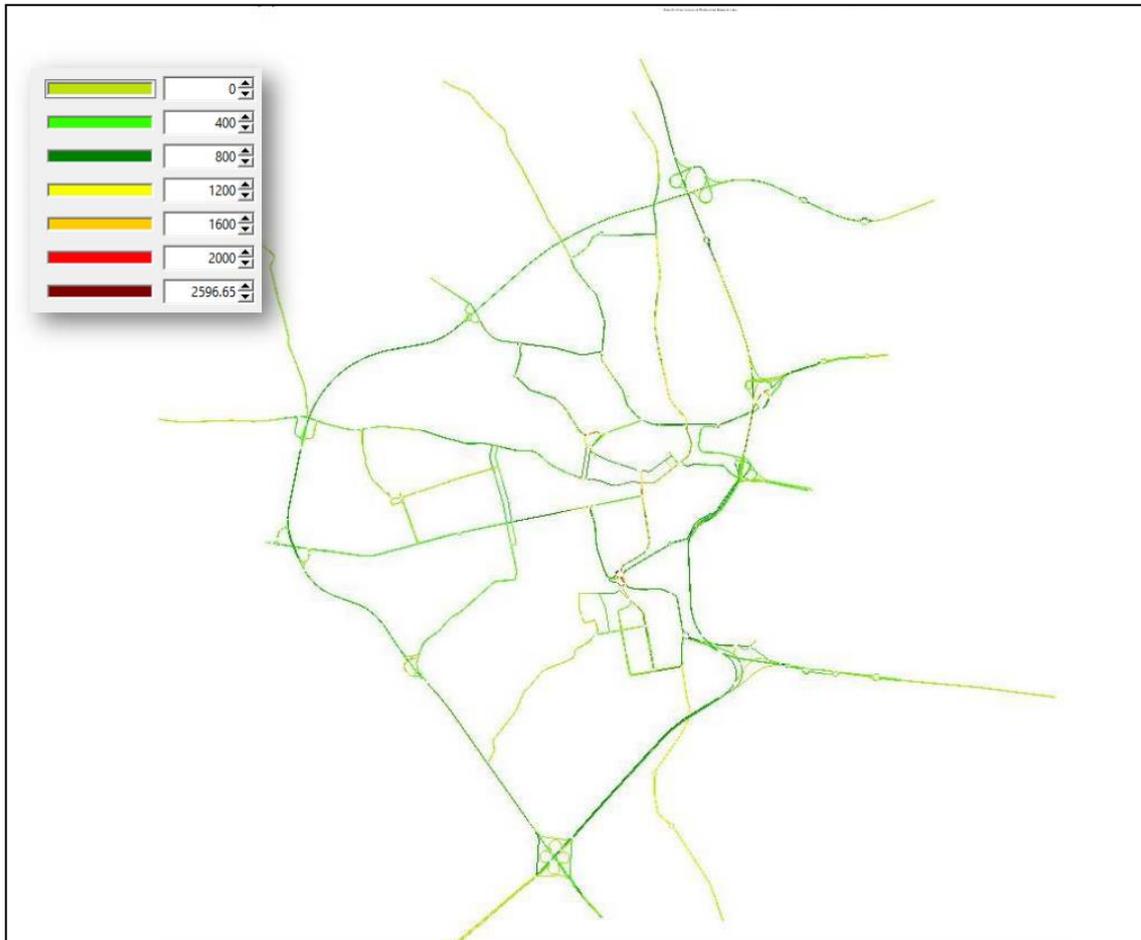


Figure II.23 Répartition des flux de trafic (véhicules/heure) à l'heure de pointe de l'après-midi d'été

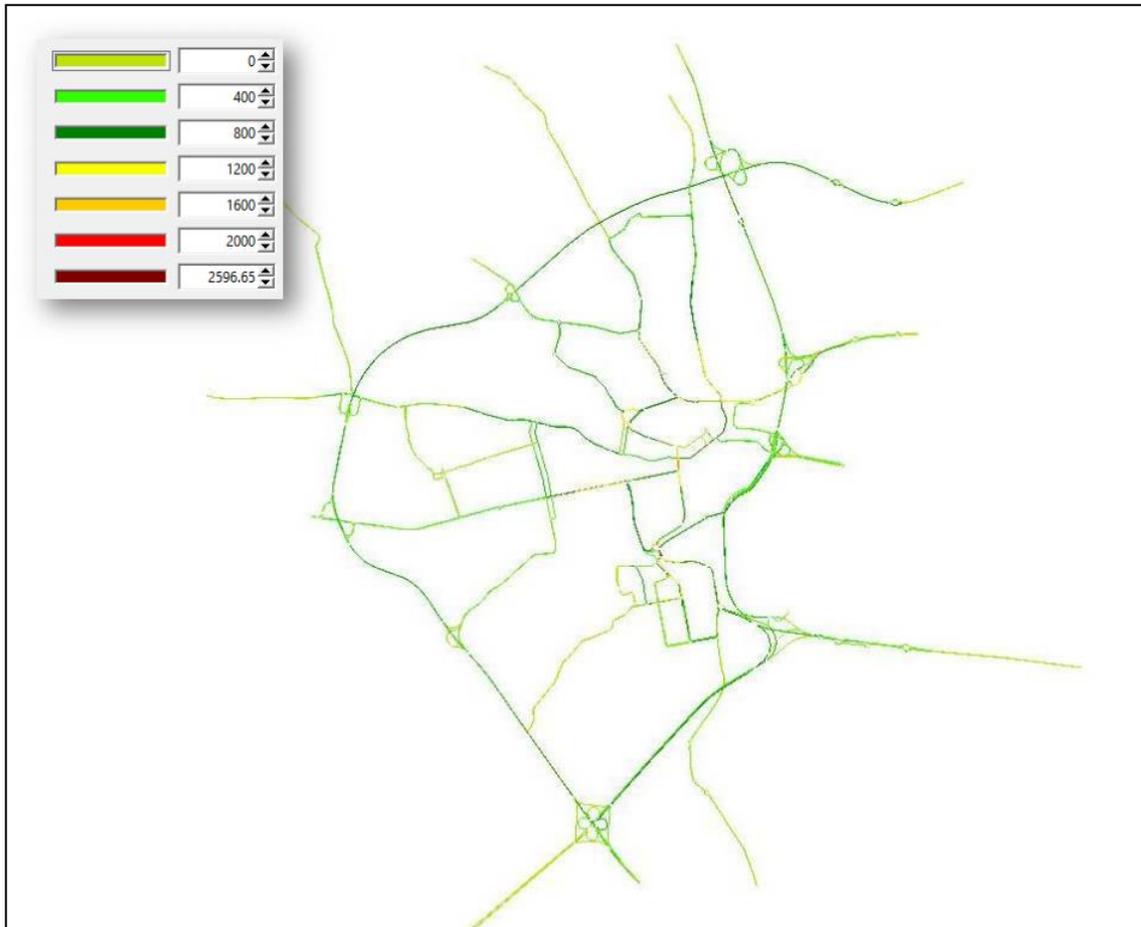


Figure II.24 Répartition des flux de trafic (véhicules/heure) à l'heure de pointe de l'après-midi en automne

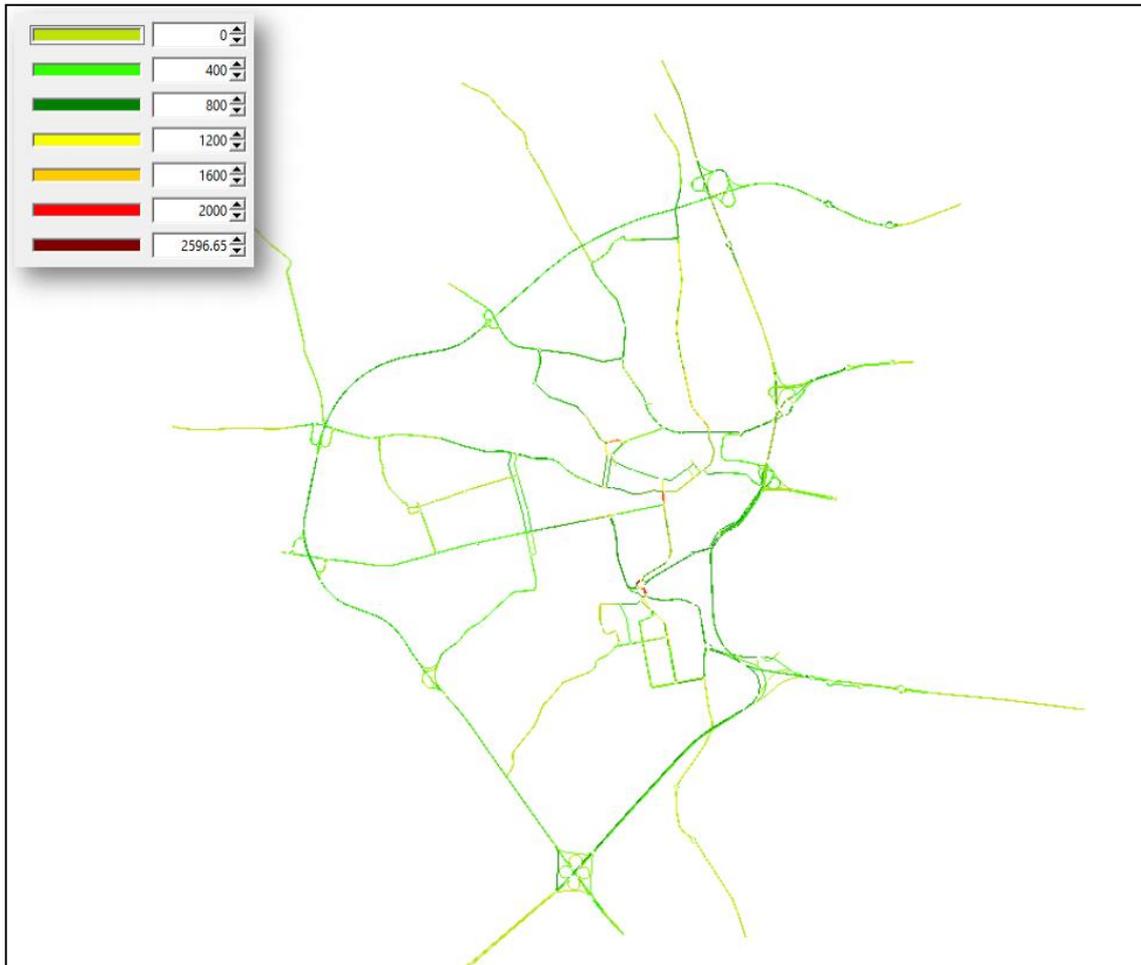


Figura II.25 Répartition des flux de trafic (véhicules/heure) à l'heure de pointe de l'après-midi en automne

La Figura II.26 montre les arcs affectés par la congestion, en les différenciant en fonction de la période dans laquelle le phénomène se produit. Le Tableau II.20 d'autre part, fournit des données macroéconomiques sur les simulations effectuées, indiquant le pourcentage des arcs dans lesquels la limite de capacité est dépassée entraînant une congestion et la valeur moyenne du rapport débit/capacité (saturation) des arcs.

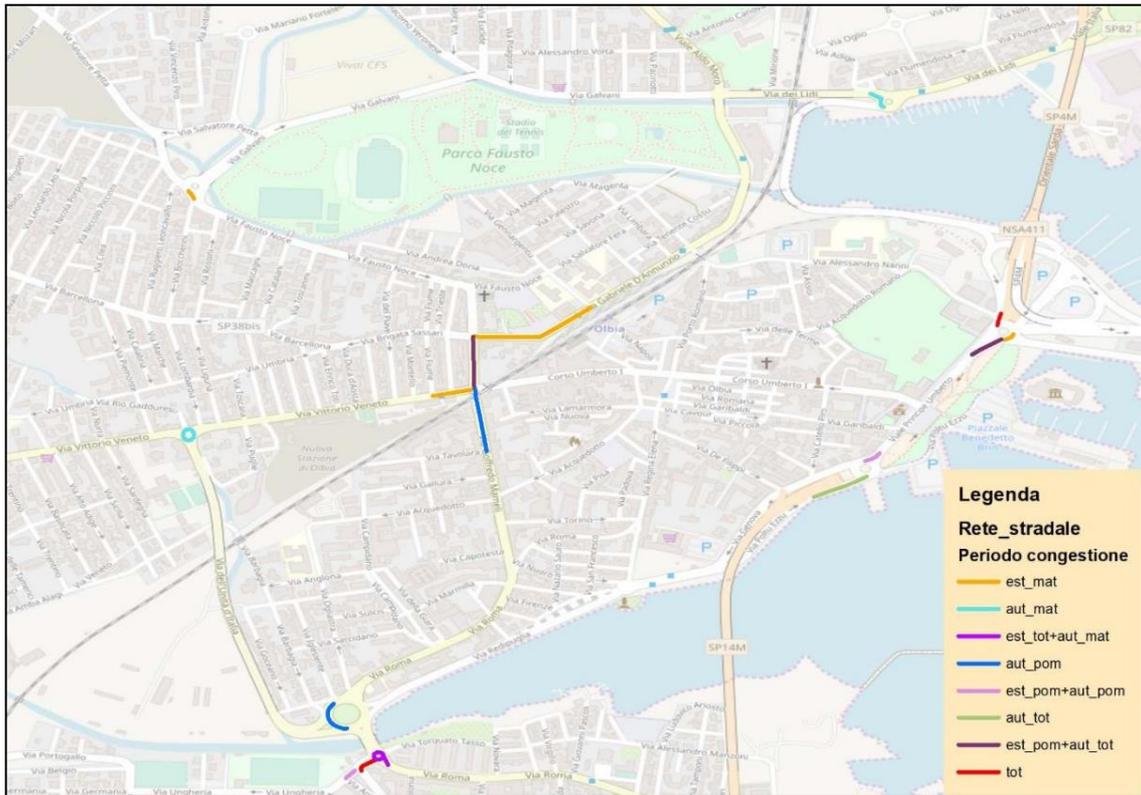


Figura II.26 Archi congestionati

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 II.20 Macro caractéristiques des simulations

3.2 Les résultats du modèle dynamique

L'affectation intra-périodique dynamique a été effectuée à l'aide du progiciel Duaiterate. L'algorithme de routage utilisé par défaut dans Duaiterate est l'algorithme Gawron: chaque véhicule est affecté à l'itinéraire le moins coûteux, qui est toutefois 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 de simulation dynamique final 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). Pour ce faire, les deux indices RMSE% et DIFFP ci-dessous ont été utilisés:

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

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

où:

$f_{eq,i}$ = 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 dans le réseau

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

Les calculs effectués ont donné les valeurs suivantes pour les indices RMSE% et DIFFP%:
RMSE% = 10,45%.

DIFFP% = 6,41%.

Ce résultat, surtout lié à l'indice DIFFP, qui pèse chaque écart sur la quantité de flux passant réellement par l'arc, indique comment les deux modèles (équilibre et dynamique) sont parfaitement alignés.

La simulation dynamique est lancée par l'outil "Configuration_file.sumo.cfg" du Sumo Gui. La Figure II.27 montre la simulation de véhicules en mouvement.

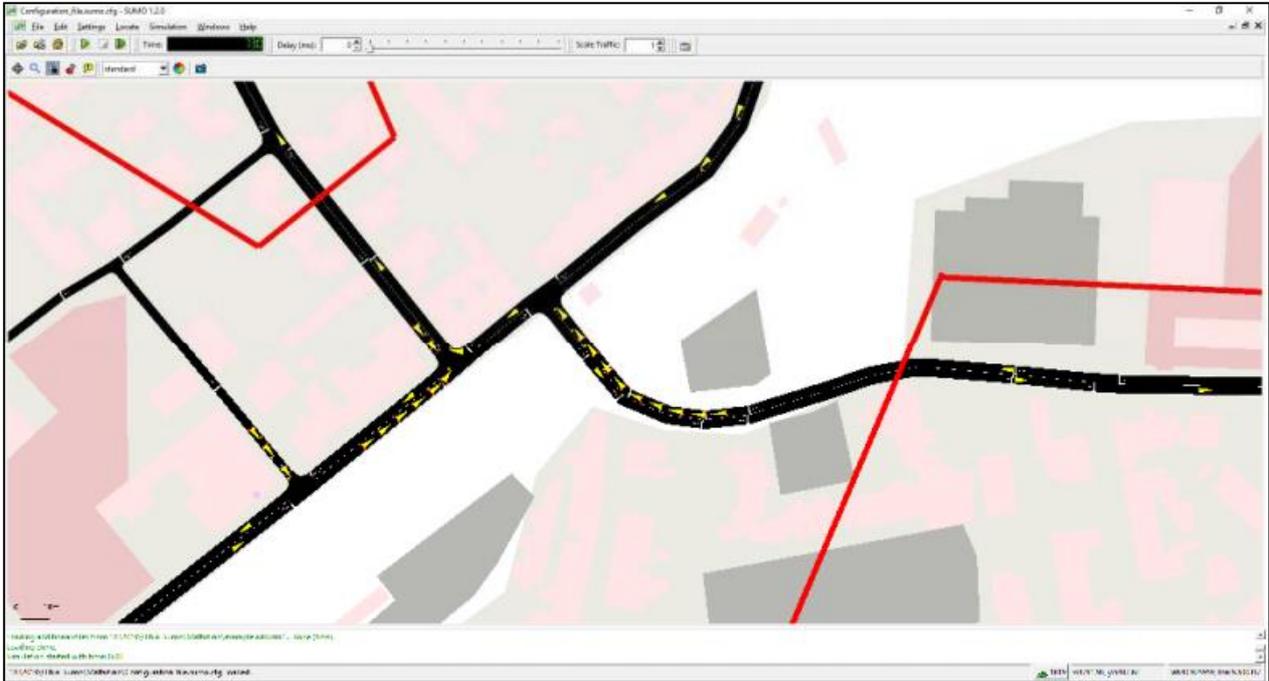


Figure II.27 Simulation dynamique

Les fichiers suivants se trouvent dans le même dossier que le fichier de simulation:

- queue.xml, rapporte, pour chaque arc et seconde de simulation, les longueurs de file d'attente exprimées en mètres;
- congestion_arches.out.xml, rapporte, pour chaque arc et pour toute la période de simulation (qui se termine à la sortie du réseau du dernier véhicule) le temps de parcours, la densité, les flux totaux, la vitesse, le temps d'attente et d'autres attributs moins importants;
- emissions.out.xml, indique, pour chaque véhicule, pour chaque itinéraire et pour chaque instant (en secondes), les données d'émissions suivantes
 - quantité de CO₂ émise (mg/s);
 - quantité de CO émise (mg/s);
 - quantité de HC émise (mg/s);
 - quantité de NO_x émise (mg/s);
 - quantité de PM_x émise (mg/s);
 - quantité de carburant consommée (ml/s);
 - la quantité de bruit émise (dB);
 - vitesse moyenne.
- pollutants.out.xml, montre, pour chaque arc et pour toute la période de simulation
 - quantité de CO₂ émise (mg/s);
 - quantité de CO émise (mg/s);
 - quantité de HC émise (mg/s);

- quantité de NOx émise (mg/s);
- quantité de PMx émise (mg/s);
- quantité de carburant consommée (ml/s).

4. L'ANALYSE DES FLUX ACTUELS

La présente analyse des scénarios alternatifs possibles de réaménagement du trafic part des considérations illustrées dans la SECTION II, à savoir celle de l'invariance des dimensions des infrastructures routières d'accès/de sortie du port. Sur la base de ces considérations, les points critiques du réseau, identifiés par modélisation avec le logiciel SUMO de l'état actuel et représentés dans la Figure II.29.

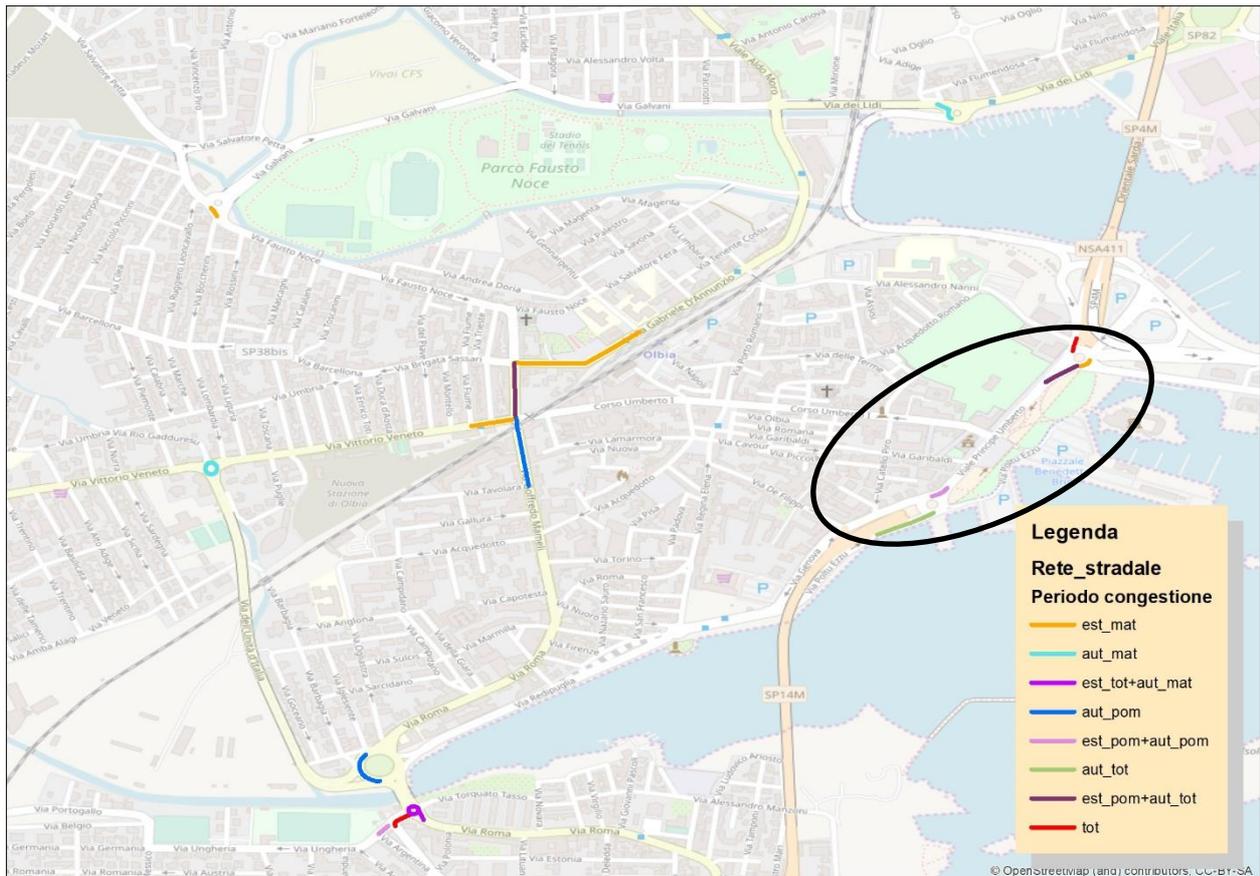


Figure II.28: Les zones les plus encombrées

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 la boîte noire dans la figure).

Pour vérifier plus avant les points critiques du réseau routier, à partir des enquêtes réalisées et illustrées dans la SECTION II, les flux ont été extraits sur les différentes sections du réseau routier d'intérêt et en particulier sur la route du front de mer du port. La Figure II.29 montre les mesures effectuées avec des instruments radar portables.

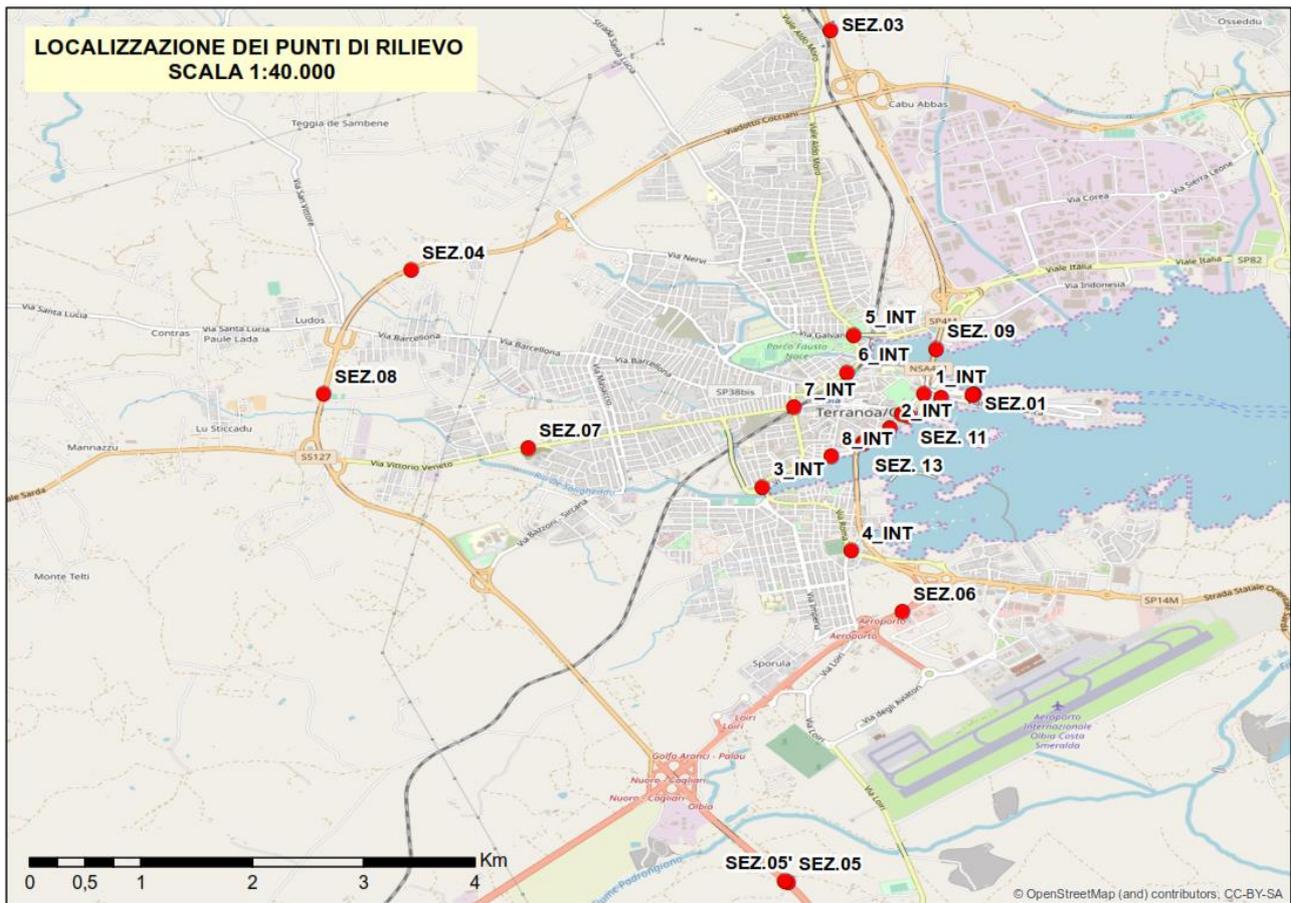


Figure II.29: Points de surveillance du trafic sur le réseau routier fondamental d'Olbia

En utilisant les sections 05 et 03 comme référence, la quantité et le type de flux bidirectionnels dans les accès/départs du sud et du nord de l'hinterland 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
	Vélos	15	20	0	3
03	Léger	1.988	2.429	1.235	1.667
	Lourd	71	31	65	17
	Vélos	17	33	8	7

Tableau II.21: Flux détectés dans les deux sections d'accès/d'évacuation les plus importantes de la zone urbaine d'Olbia

Il ressort de l'analyse des flux du Tableau II.21 que les flux de véhicules légers en provenance du nord sont environ 33 % plus élevés que les flux en provenance du sud, tandis que les flux de véhicules lourds sont généralement plus élevés que ceux en provenance 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 voie d'accès au port, puisque les flux en provenance du nord

voient la confluence d'un minimum de transits seulement 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 en provenance de la zone sud venant de la SS125.

Afin d'évaluer l'entité des niveaux de congestion sur le réseau routier, les résultats produits par le modèle de simulation du trafic en période d'été/automne ont été analysés pour déterminer l'entité des flux présents sur le réseau de la ville d'Olbia. Afin de réaliser cette évaluation, les données du fichier NetLoad produit par Sumo à l'aide de la commande Marouter ont été prises pour vérifier les flux d'accès au port attribués par le calibrage en certains points du réseau routier, indiqué dans la Figura II.30 ci-dessous et dans le Tableau II.22 (développé par le processus développé dans 3 - Modèle de simulation).



Figura II.30 – I punti di verifica del livello di congestione stradale

Section	Période de simulation			
	Eté: 8-9	Eté: 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 II.22: Les flux simulés aux points indiqués dans les Figure II.29

Comme le montre le Tableau IV.2 ci-dessus, la plus grande quantité de flux d'accès au port se trouve dans le tronçon 3, à chaque période de l'année. Il ressort de ces données 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 devraient être adressées aux composantes lourdes du trafic automobile, qui sont les plus responsables de la congestion urbaine, afin de décongestionner le nœud 3 qui, aux heures de pointe, est particulièrement critique.

INCIDENTALITÉ

En analysant les niveaux d'accidents, nous avons pris les données d'accidents des années 2014-2018, présentées dans la Figure II.31. Les données sur les accidents montrent comment les flux en provenance du sud affectent un plus grand nombre d'événements accidentels, en particulier sur la partie côtière de la SS125.

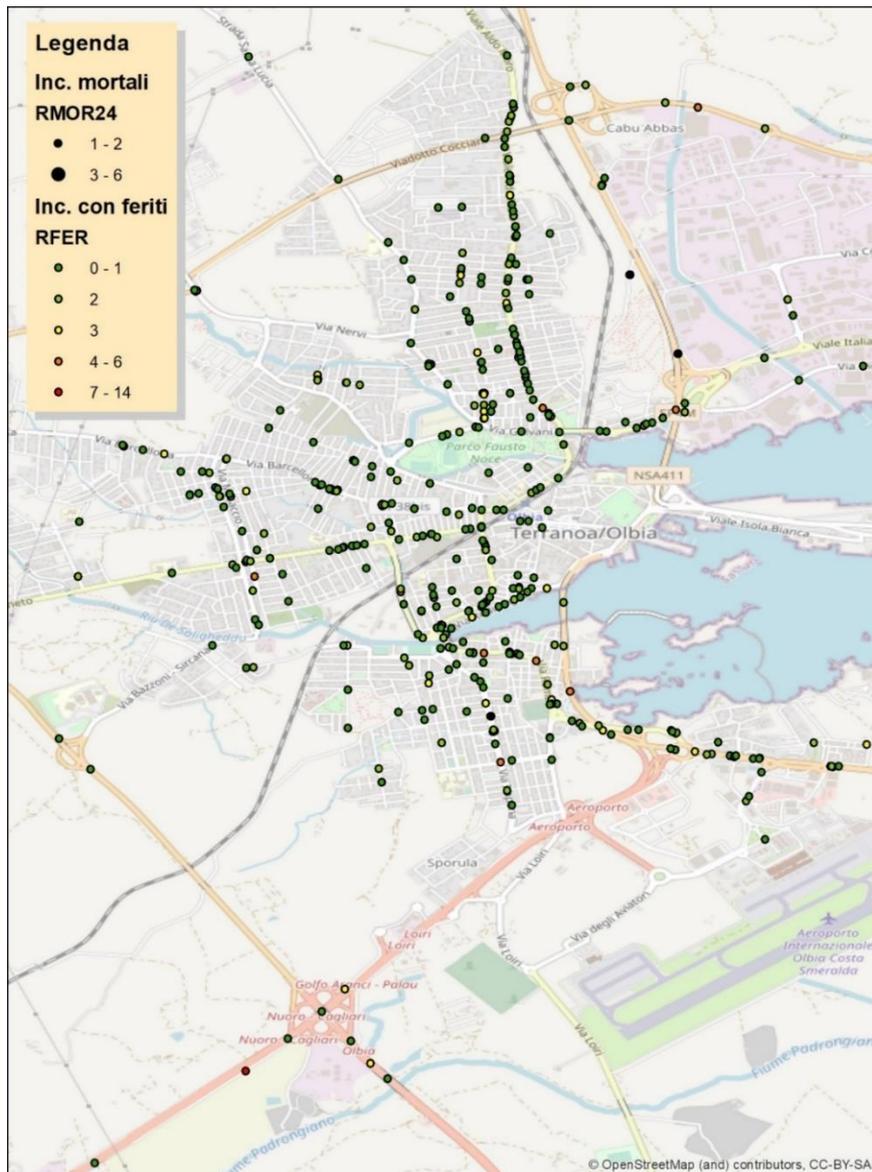


Figure II.31– Localisation et nombre de blessés/morts dans la région d'Olbia

En comparant la route d'accès du nord et du sud au port, on a extrait les accidents survenus sur les deux routes différentes. Il y a sept accidents sur la route du sud, tous survenus au cours de la période de trois ans 2014-2016. Ces accidents ont impliqué un total de 15 véhicules, dont un véhicule lourd, une moto et 13 voitures particulières, et ont fait 18 blessés au total. Les accidents se sont produits trois fois au printemps, deux fois en été et deux fois en automne. Au niveau de l'heure de survenance quotidienne, deux se sont produits dans la bande du matin 6-8, deux dans la bande 10-12 et trois dans le pic de l'après-midi 17-19. En ce qui concerne l'accès par le nord, il y a trois accidents au cours de la période 2015-2016, survenus au cours des mois de janvier, mars et juillet, respectivement à 7:00, 13:00 et 20:00, qui ont fait 4 blessés et trois véhicules dont deux voitures et une moto. Il ressort de l'analyse

décrite ci-dessus que le niveau d'accidents est plus important pour les routes qui permettent d'accéder à Olbia par le côté sud. Cet élément supplémentaire permet de certifier qu'il est approprié d'installer un VMS qui redirige les flux de véhicules arrivant/départ du port en direction du sud.

SECTION III. LA CONSTRUCTION DE SCÉNARIOS DE RÉAMÉNAGEMENT DU TRAFIC AVEC DES SYSTÈMES D'INFO-MOBILITÉ

1. INTRODUCTION

Dans cette section, l'analyse des scénarios alternatifs possibles de réorganisation du trafic est illustrée en partant de la considération préliminaire que les dimensions et les alternatives possibles des routes d'accès/de sortie du port sont invariantes. En fait, il n'est pas possible de modifier les dimensions des routes en introduisant des facteurs qui augmentent la capacité routière ou d'introduire de nouvelles voies d'accès au port lui-même. En ce qui concerne cette hypothèse préliminaire, à partir des résultats de la micro-simulation de l'ensemble du réseau routier principal d'Olbia et des données de l'enquête sur les flux réalisée en une semaine pendant l'été et l'automne 2019 sur treize tronçons routiers et huit intersections, les niveaux de congestion (cfr. SECTION II les accidents et les possibilités de déviation dans les différentes branches d'accès/de sortie du port sont d'abord analysés. Dans cette analyse, les branches traversant la zone urbaine centrale d'Olbia ont été exclues, branches dont les flux ne devraient pas être affectés par des véhicules entrant ou sortant du port. L'analyse illustrée dans la SECTION II a montré comment 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 le postulat général de cette étude, la rationalisation des flux de véhicules par l'utilisation de l'information aux usagers avec un système de panneaux à messages variables - PMV - capable de rediriger ceux qui vont au port ou en viennent pour réduire/limiter les phénomènes de files d'attente dus à des événements de diverses natures.

2. LES PANNEAUX À MESSAGES VARIABLES

Dans ce paragraphe, nous analysons les emplacements des PMV existant actuellement (même s'ils ne fonctionnent pas) ainsi que leur utilité et leur éventuelle intégration avec des PMV supplémentaires qui seront fournis dans le futur appel d'offres que la ville d'Olbia publiera pour l'achat de ces instruments.

2.1 *PMV actuellement présents dans la zone municipale*

Actuellement, il y a deux PMV qui ne fonctionnent pas, la première étant située sur le côté droit du quai de l'Isola Bianca, à la sortie du port (voir Figure III.1) et la seconde près du rond-point à l'intersection entre la SS125, Via Mestre et Via dei Mercanti (voir Figure III.2).

Alors que 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 par la zone sud, par la route côtière.

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.

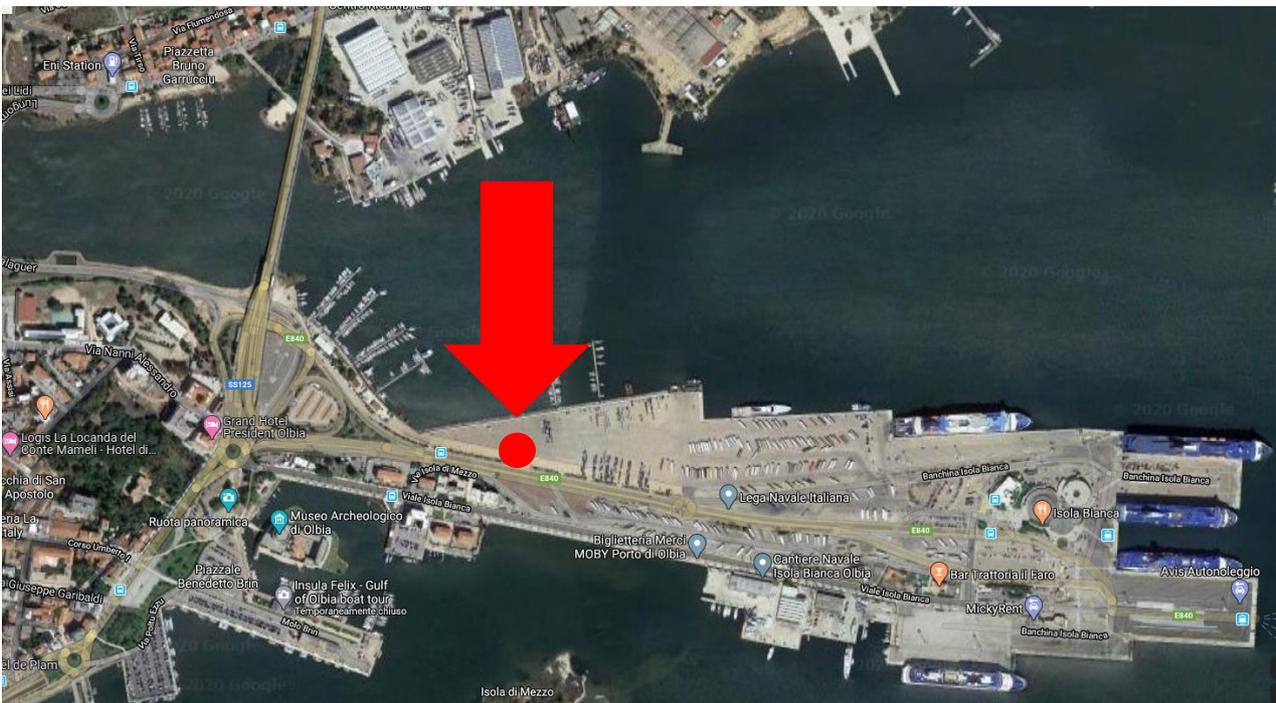


Figure III.1 – Le VMP existant près du port - emplacement général



Figure III.2 – Le PMV existant dans l'accès côtier sud du port - localisation générale

2.2 Les deux nouveaux PMV

Il ressort des analyses décrites dans la **Erreur**. **L'origine riferimento non è stata trovata.** et la 0 qu'il convient de favoriser la localisation des systèmes d'info-mobilité avec des PMV dans la partie sud de la ville d'Olbia et en particulier dans les points du réseau routier indiqués dans le Tableau III.1, la Figure III.3 et la Figure III.4. Ces PMV sont destinées à fournir des informations d'info-mobilité pour les flux de véhicules en provenance de Sassari, via la SS729 (PMV n.1) et les flux en provenance du sud de la SS 131 dcn (PMV n. 2).

ID	Via	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 III.1: Localisation des PMV n° 1 et 2

Les chiffres suivants montrent l'emplacement des deux VMP dans le réseau routier d'accès à Olbia.

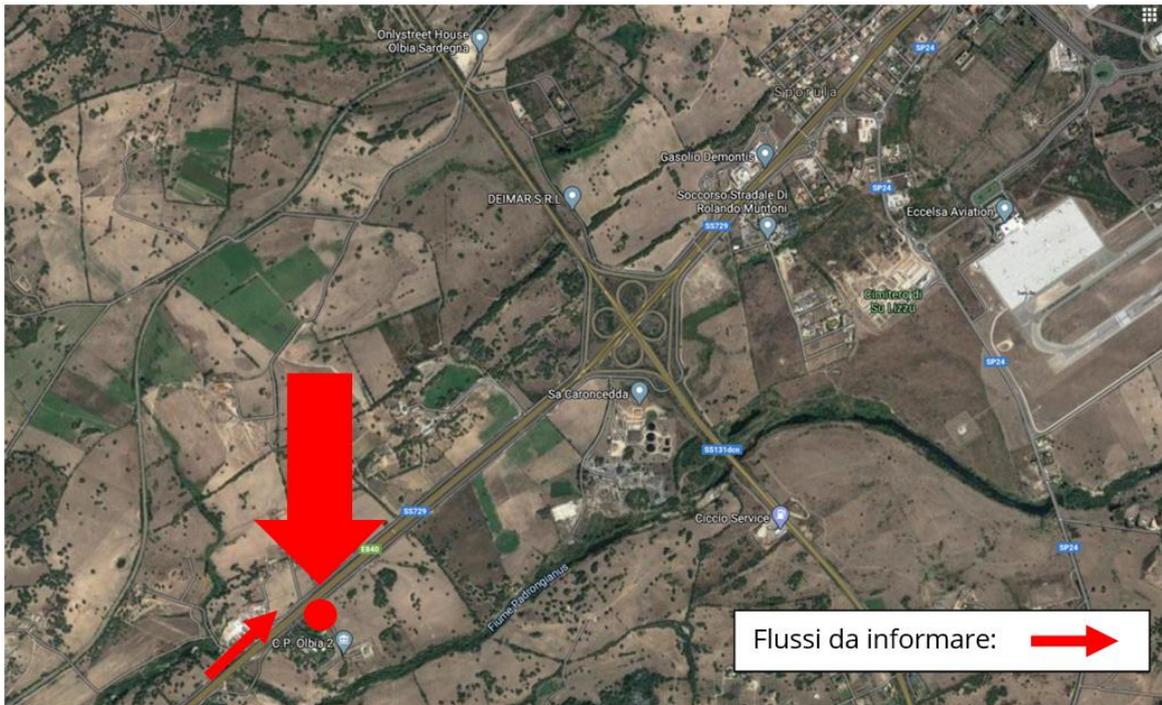


Figure III.3 – Le nouveau PMV no.1 - localisation générale

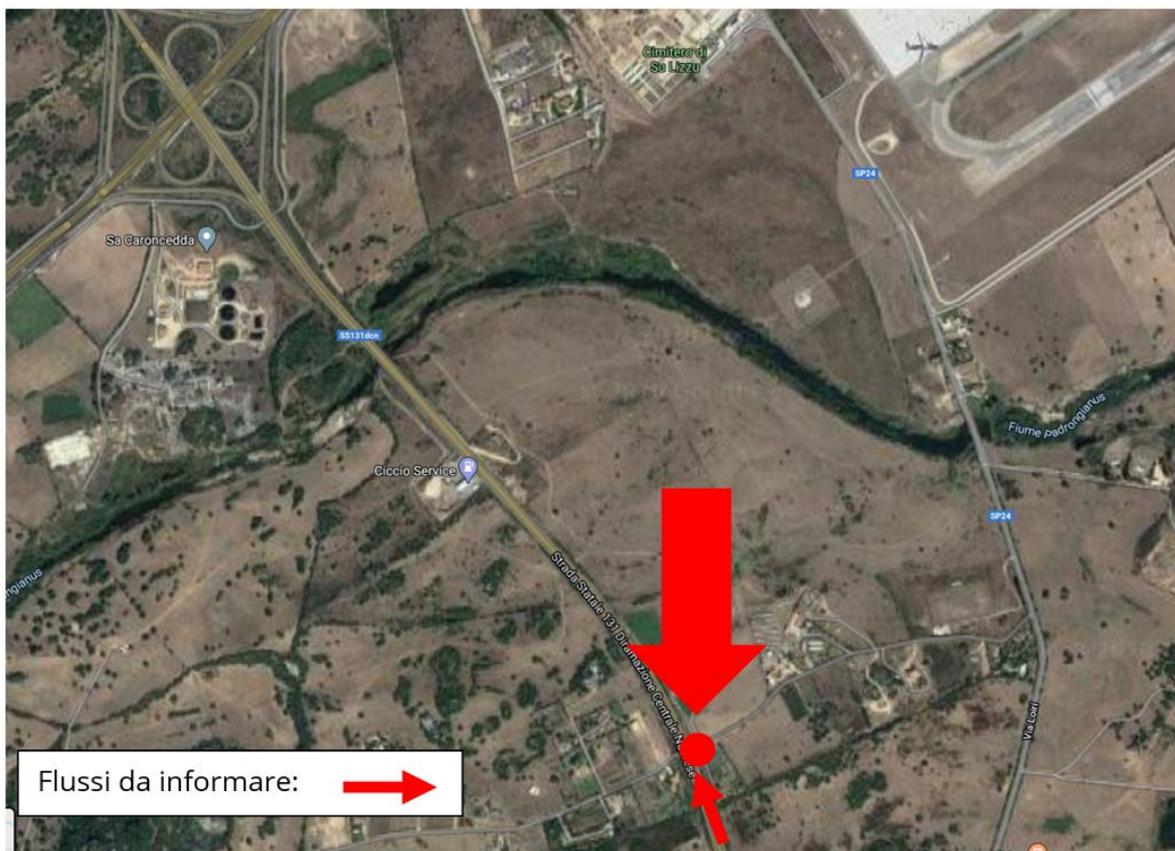


Figure III.4 – Le nouveau PMV n°2 - localisation générale

3. SCÉNARIOS DE GESTION DU TRAFIC

Avec la définition de l'emplacement de la position des PMV, la méthode de gestion et l'identification des scénarios de rationalisation du trafic par la plateforme ITS pour la gestion des messages avec les PMV est illustrée ci-dessous. Le système devra indiquer, en relation avec 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 temporaires de congestion routière, etc.)

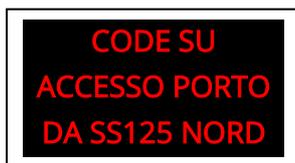
Les messages d'info-mobilité transmis par les PMV peuvent être intégrés à d'autres outils d'information des utilisateurs, tels que des PPA spécifiques ou des services web.

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 par le biais de messages à envoyer par les PMV. Plus précisément, ces messages peuvent concerner le réacheminement de véhicules dans les cas qui seront illustrés dans les paragraphes suivants.

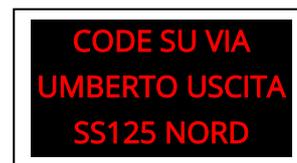
3.1 TYPE 1 - MESSAGE DE CONGESTION

Message concernant les files d'attente à l'accès au port le long de la route SS125 du côté sud, et conseils pour accéder au port par d'autres routes (par exemple depuis la jonction nord de la même SS125).

TANGES SUR LA SS125, ou TANGES LONGUEURS VIA LE PRINCIPE



TYPE 1A



TYPE 1B

En ce qui concerne les exemples de messages indiqués, en fonction des flux de véhicules surveillés à l'aide des capteurs de trafic illustrés dans le chapitre 4 suivant, des hypothèses seront formulées quant à l'impact que ces messages peuvent avoir sur les flux de véhicules et qui seront illustrées en détail dans la **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

En général, ce message TYPE 1A permet d'alléger de manière substantielle le flux provenant du sud sur les SS 125 et 729 et dirigé vers l'accès sud du port (SS 125) et de le rediriger vers l'accès nord du port (SS 125). Il sera ainsi possible d'alléger le tronçon 3 qui, comme le montre le Tableau IV.2, est le plus chargé, tandis que la route d'accès nord est moins chargée et a

encore une capacité résiduelle pour recevoir les nouveaux flux sans réduire le niveau de service du réseau routier.

A l'inverse, le message TYPE 1B permet d'alléger d'un quota important le flux sortant du port et dirigé vers le SUD en transitant soit dans la Via Principe Umberto, soit sur le passage inférieur de la SS 125 et dirigé vers le SUD, et de le rediriger vers la sortie vers le Nord sur le périphérique. Il sera ainsi possible d'alléger la section 3 qui, comme le montre le Tableau IV.2, est la plus chargée.

3.2 TYPE 2 - MESSAGE SUR LE RETARD D'UN NAVIRE

Message d'information sur les retards dans l'arrivée des navires au port, indiquant l'aire de stationnement temporaire à utiliser.

CODE SUR SS125



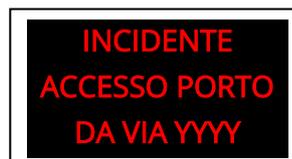
RITARDO NAVE
 XXXX USARE AREA
 DI SOSTA YYYY

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

3.3 TYPE 3 - MESSAGE D'INACCESSIBILITÉ

Message d'information sur l'accident de la route, avec indication d'un autre accès au port.

CODE SUR SS125



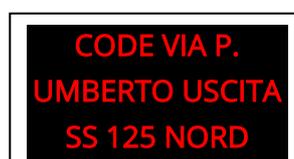
INCIDENTE
 ACCESSO PORTO
 DA VIA YYYY

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 l'ordre.

3.4 TYPE 4 - MESSAGE DE CONGESTION

Message d'information sur les files d'attente concernant les situations critiques générées par les encombrements le long des principales voies d'accès/sortie du port, comme la 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 des itinéraires alternatifs.

FILES D'ATTENTE SUR LE VIA PRINCIPE UMBERTO/UNDERPASS SS 125.



CODE VIA P.
 UMBERTO USCITA
 SS 125 NORD

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 l'ordre.

4. DÉTECTEURS DE DÉBIT

La détection des flux de trafic constitue l'un des éléments fondamentaux du système d'immobilité ITS: en effet, grâce à une surveillance continue, il sera possible, une fois les conditions critiques détectées (flux de véhicules élevés et donc émissions sonores importantes), d'envoyer des messages avec des PMV qui avertissent les utilisateurs et redirigent leurs itinéraires. Pour être efficaces, les systèmes de surveillance du trafic ont été planifiés le long des axes routiers présentant la plus forte probabilité d'encombrement, 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 parties prenantes locales.

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 de l'Isola Bianca), et du besoin complémentaire de connaître les flux plus généraux d'accès/sortie au port et les flux de transit sur le système routier du front de mer du port d'Olbia, constitué par la SS125.

Les localisations, avec leurs caractéristiques et leurs coordonnées, sont indiquées dans le Tableau II.22 uivant, tandis que les figures suivantes indiquent les localisations des différents capteurs.

ID	Via	Localisation	Coordonnées	
			N	E
SP n.1	Quay Isola Bianca	Dans l'alignement du parking et sur la rampe de sortie	40,924755	9,509126
SP n.2	Isola Bianca	Près du parking de l'Isola Bianca	40,924554	9,507624
SP n.3	S.P. 4M	Avant l'entrée du passage souterrain, en direction du nord	40,921120	9,502346
SP n.4	S.P. 14M	Sortie Tempio	40,931265	9,508584

Tableau III.2: Emplacement des détecteurs de trafic



Figure III.5 – Détecteur de trafic n° 1 dans le Viale Banchina Isola Bianca



Figure III.6 – Détecteur de trafic n° 2 à Viale Isola Bianca



Figure III.7 – Détecteur de trafic n° 3 sur la SS125

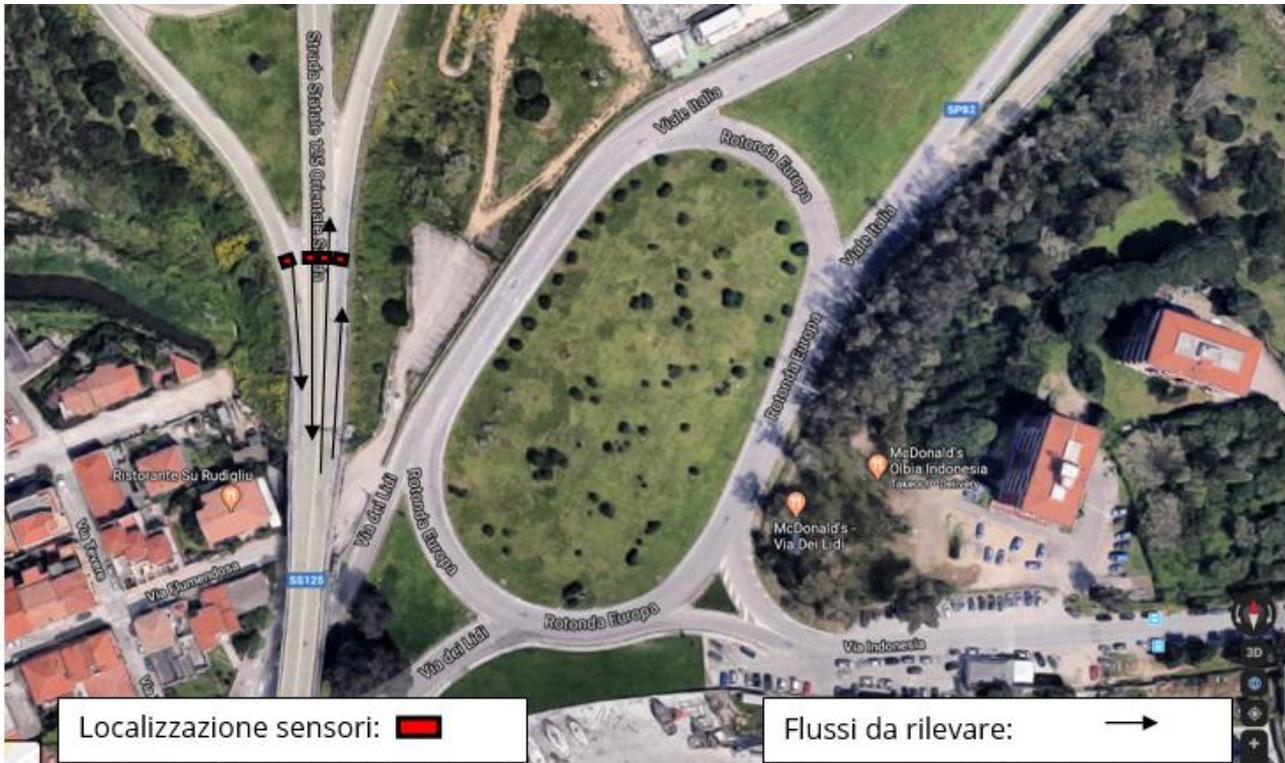


Figure III.8 – Détecteur de trafic n° 4 sur la SS125

La Figure III.9 ci-dessous montre les emplacements de toutes les infrastructures prévues du système d'info-mobilité basé sur la PMV.

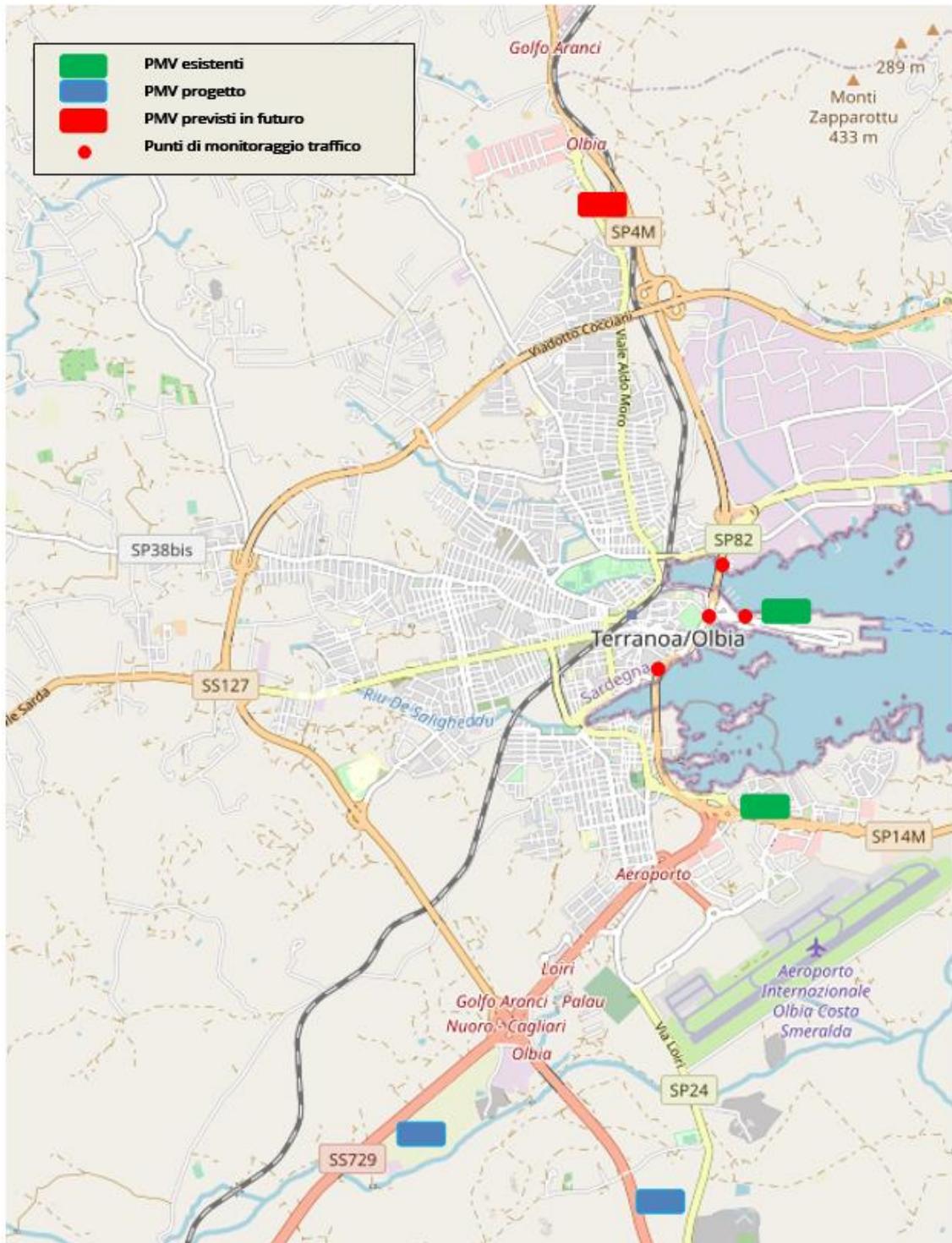


Figure III.9 – Plan de localisation des infrastructures de détection et d'info-mobilité

SECTION IV. APPLICATION DU MODÈLE PRÉDICTIF AVEC LES RÉSEAUX DE NEURONES AUX DONNÉES DE SIMULATION DU TRAFIC AVEC LE SOFTWARE SUMO

1. INTRODUCTION

La section des transports de l'Université de Cagliari a développé un modèle de simulation basé sur l'architecture des réseaux de neurones pour la prédiction de la tendance du bruit du trafic automobile dans les zones du waterfront des villes portuaires. La présence d'un port maritime, intégré dans la ligne du waterfront urbaine, a le potentiel d'exposer les zones limitrophes à une grande variabilité de la circulation sur différentes échelles de temps et peut créer un contexte urbain acoustiquement complexe en évolution continue. Réalisations en matière de trafic - bruit de faible intensité pendant les périodes douces ordinaires alterne récursivement avec des conditions sévères de trafic élevé pendant les périodes de pointe, en fait, les activités portuaires, induites par les accès au port, en particulier pendant la saison touristique, influencent dynamiquement le volume et la composition du flux de véhicules juste au moment où les activités d'embarquement et de débarquement des véhicules sont en cours.

Les modèles statiques classiques de trafic - bruit, basés sur des hypothèses et des analyses purement statistiques, ne sont pas des outils de prévision totalement adéquats pour incorporer et reproduire les caractéristiques dynamiques du comportement 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 adaptative 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 d'une minute. Le modèle neural a été formé et testé avec succès à l'aide de données expérimentales sur le bruit et le trafic acquises au cours de deux périodes de mesure caractérisant le climat acoustique sur une base annuelle dans la ville portuaire d'Olbia. Pour mener à bien la procédure de formation et la validation de la phase de généralisation, les périodes de mesure caractéristiques suivantes ont été retenues : une période douce de trois jours au mois de mars, où le trafic est ordinaire, et une période de pointe de trois jours au mois d'août, représentative de la période d'intensité maximale annuelle du trafic. La capacité du modèle à généraliser ce qui est appris du sous-ensemble de formation a été testée sur un vaste ensemble de tests consistant en une séquence de 7750 enregistrements d'une minute chacun qui correspondent à 89% de l'ensemble des 8640 observations expérimentales tandis que l'ensemble de formation se compose des 11% restants. Par conséquent, une séquence expérimentale consistant en 890

minutes de valeurs moyennes du niveau de pression acoustique (sur une base d'une minute), synchronisée avec les mesures correspondantes du trafic automobile sur 11 tronçons routiers, a suffi pour prédire l'évolution temporelle de la pression acoustique sur 8640 minutes avec une erreur moyenne de moins de 1 dB, en utilisant les données du trafic comme source exogène de données d'entrée. Le modèle adaptatif a montré la capacité de prédire dynamiquement le niveau de pression acoustique, avec une erreur de moins d'un décibel, à certains points de mesure du front de mer de la ville d'Olbia, alors que les sources de trafic évoluent selon différents scenario.

La présente étude illustre la capacité du modèle adaptatif à prédire dans quelle mesure des stratégies spécifiques de gestion et de redistribution du trafic de véhicules affectent la réduction du bruit urbain dans des zones spécifiques sous l'influence des activités du port maritime d'Olbia. Les trois points de mesure qui avaient été 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 $LeqA$, 1') lorsqu'il reçoit en entrée des scénarios de trafic correctement sélectionnés et générés numériquement.

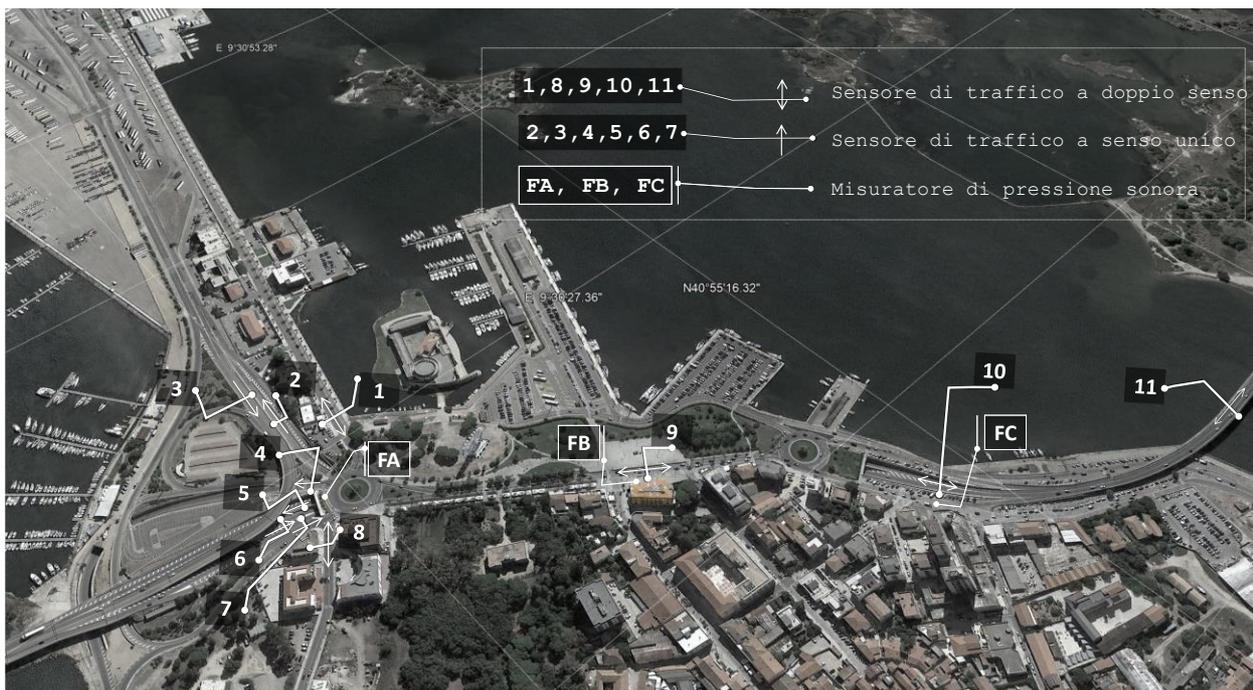


Figure IV.1: Emplacement des sonomètres et des capteurs de trafic dans la zone urbaine du waterfront de la ville portuaire d'Olbia pendant les campagnes expérimentales de 2019.

Le développement de cette étude est basé sur la capacité de généralisation du modèle afin de déterminer quelles valeurs de pression acoustique équivalente $LeqA$ seraient établies dans les points de mesure phonométriques (FA, FB et FC dans la figure IV.1 et le tableau IV.1) si un scénario de trafic donné était réalisé dans les 11 sections de route du waterfront du port

d'Olbia. Les scénarios synthétiques de trafic appropriés dans les 11 sections de route ont été générés grâce à l'outil de simulation numérique SUMO. Sur la base des performances affichées par le modèle de bruit de trafic dans les phases de généralisation de la période de pointe d'août et de la période douce de mars, on peut raisonnablement espérer que la réponse du modèle sera fiable même lorsque la source des données d'entrée 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 les réalisations de l'échantillon du niveau de pression acoustique de la circulation et du bruit qui se sont produites pendant les deux périodes de faible intensité et de pointe de mars et août, et qui ont été mesurées et enregistrées pour former le modèle d'apprentissage, sont pleinement représentatives de l'espace de l'échantillon qui forme l'univers des réalisations possibles de l'événement circulation-bruit considéré. Il est à noter que cette 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.

Tableau IV.1 Données d'identification des stations de mesure du niveau sonore.

Id	Localisation	Type d'enquête
Pos. FA	Rond-point Sacro Cuore	Unité de contrôle fixe sur le poteau
Pos. FB	Via Principe Umberto front Municipio	Centralina fiss Unité de contrôle fixe sur le poteau a
Pos.FC	Via Genova entrée du passage souterrain de la route	Unité de contrôle fixe sur le poteau

2. METODOLOGIA

A fin d'obtenir des résultats comparables à ceux obtenus lors de la phase de training 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 se référant 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 rapportées aux mêmes points des valeurs expérimentales homologues. (comme mentionné dans le INTRODUCTION).

C'est pourquoi nous détaillons la méthode suivie pour effectuer le traitement.

2.1 Des données de trafic générées par le modèle SUMO à la composition par typologie

Étant donné que les données fournies par l'outil de simulation SUMO sont exprimées en véhicules équivalents sur une base horaire pour chaque tronçon de route considéré, alors que les données nécessaires à l'opération ANNM sont exprimées en véhicules par minute, répartis 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 directions de conduite dans chaque section ont été prises en compte et la valeur normalisée (donc relative) pour chacune des valeurs des sections, directions de conduite et classes de véhicules a été dérivée. À titre d'exemple, le tableau IV.2 présente l'une des configurations horaires expérimentales pour la période de pointe. Les valeurs relatives sont indiquées dans le tableau IV.3.

Tableau IV.2 Composition horaire de la circulation automobile de 11h à 12h le 26 août 2019 en valeur absolue. (Valeurs mesurées expérimentalement)

Heures 11-12		Absolue					
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Tot
1A		91	217	81	8	9	406
1B		28	696	131	10	8	873
1C		43	674	62	6	7	792
1D SORTIE DU PORT	dir 1	6	50	251	76	33	416
1D DIRECTION PORT	dir2	37	119	205	102	64	527
1E		1	3	23	0	1	28
		42	47	22	3	5	119
		34	34	23	34	19	144
2A DIRECTION. NORD	dir 1	50	163	251	27	22	513
2A DIRECTION. SUD	dir2	12	116	171	49	20	368
3A (SEULEMENT DIR. SUD)		16	148	98	1	9	272
3B DIR. NORD	dir 1	50	783	75	14	7	929
3B DIR. SUD	dir2	33	822	151	12	8	1026
3C DIR. SUD	dir 1	28	693	130	10	8	869
3C DIR. NORD	dir2	43	674	61	6	7	791

Tableau IV.3 Composition horaire de la circulation automobile de 11 h à 12 h le 26 août 2019 en termes relatifs.

Heures 11-12		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Tot
		0.224138	0.534483	0.199507	0.019704	0.022167	1
1A		0.032073	0.797251	0.150057	0.011455	0.009164	1
1B		0.054293	0.85101	0.078283	0.007576	0.008838	1
1C		0.014423	0.120192	0.603365	0.182692	0.079327	1
1D SORTIE DU PORT	dir 1	0.070209	0.225806	0.388994	0.193548	0.121442	1

1D DIRECTION PORT	dir2	0.035714	0.107143	0.821429	0	0.035714	1
1E		0.352941	0.394958	0.184874	0.02521	0.042017	1
		0.236111	0.236111	0.159722	0.236111	0.131944	1
		0.097466	0.317739	0.489279	0.052632	0.042885	1
2A DIRECTION. NORD	dir 1	0.032609	0.315217	0.464674	0.133152	0.054348	1
2A DIRECTION. SUD	dir2	0.058824	0.544118	0.360294	0.003676	0.033088	1
3A (SEULEMENT DIR. SUD)		0.053821	0.842842	0.080732	0.01507	0.007535	1
3B DIR. NORD	dir 1	0.032164	0.80117	0.147173	0.011696	0.007797	1
3B DIR. SUD	dir2	0.032221	0.797468	0.149597	0.011507	0.009206	1
3C DIR. SUD	dir 1	0.054362	0.852086	0.077118	0.007585	0.00885	1
3C DIR. NORD	dir2						

Par la suite, les valeurs de flux générées par SUMO ont été distribuées selon la distribution normalisée se référant au temps considéré, en suivant les indications de la HCM de 1985 pour ce qui concerne les coefficients d'équivalence. Le tableau IV.4 présente un exemple d'un ensemble de données numériques sur la circulation qui a été utilisé comme entrée pour le modèle afin de déterminer les valeurs équivalentes du niveau de pression acoustique.

Tableau IV.4 Composition horaire du trafic automobile de 11 h à 12 h. Données de synthèse avec une distribution équivalente à celle de l'expérimentation mesurée de 11 h à 12 h le 26 août 2019.

		Total des véhicules équivalents	Absolus de la simulation SUMO					Tot
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	
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 (SEULEMENT DIR. SUD)		405.45	23.85	220.6125	146.0813	1.490625	8.384766	400.4191
3B DIR. NORD	dir 1	1056.6	56.8676	890.5466	85.3014	15.92293	4.975915	1053.614
3B DIR. SUD	dir2	960.75	30.90132	769.7237	141.3969	11.23684	4.682018	957.9408
3C DIR. SUD	dir 1	796.65	25.66881	635.3032	119.1766	9.167434	4.583717	793.8998
3C DIR. NORD	dir2	780.6	42.43464	665.1383	60.19798	5.921113	4.317478	778.0095

2.2 Construction du dataset synthétiques

Pour chacun des scénarios de trafic qui ont été envisagés, un ensemble de données synthétiques a été créé selon la méthodologie exposée. Cependant, pour le bon fonctionnement du modèle, qui prévoit la possibilité de prédire la sortie en fonction d'un certain nombre de régresseurs à la fois du trafic et du bruit (c'est-à-dire un certain nombre de valeurs de trafic et de bruit avant 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 avec ces dernières. Enfin, les valeurs ponctuelles synthétiques ont été considérées comme stationnaires pendant 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 LeqA).

La Figure IV.2 présente un exemple d'un ensemble complet de données dynamiques, transitoires et stationnaires. Chaque couleur représente une classe de véhicules et une direction de déplacement. Note à gauche, indiquée par la flèche verte, la composante dynamique (historique), à droite la composante stationnaire (flèche bleue) et au milieu la phase transitoire pointillée.

.

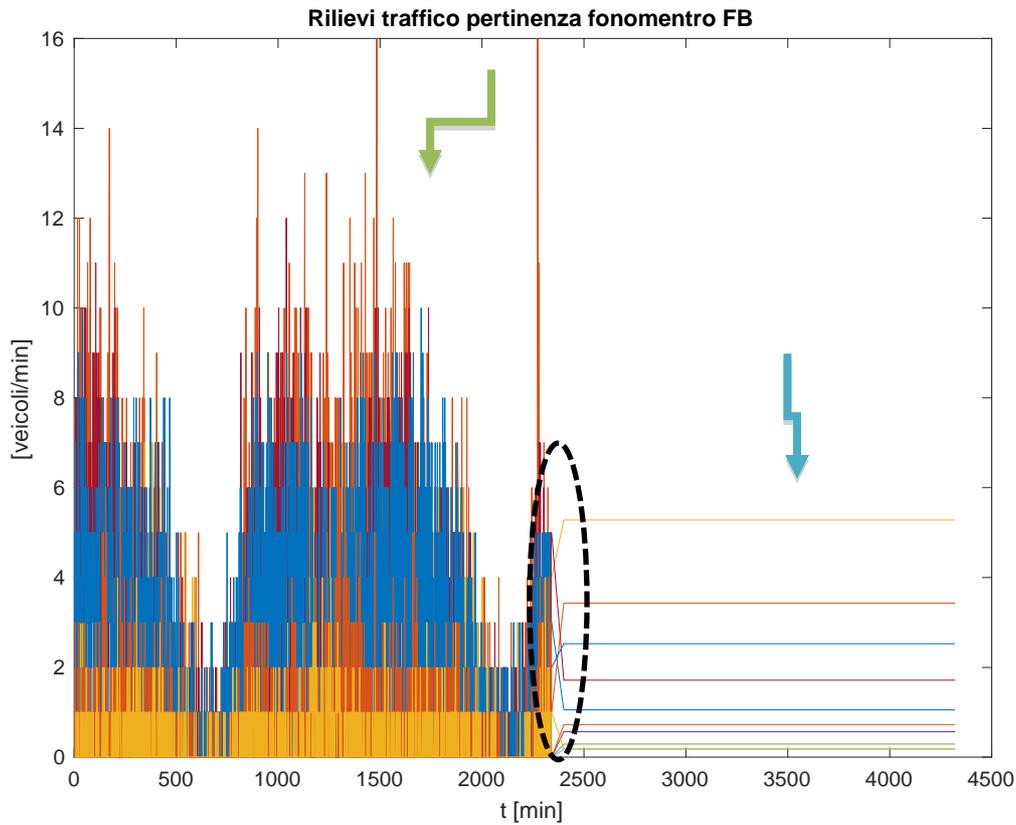


Figure IV.2 Exemple de dataset synthétique, complet avec terme dynamique, transitoire et stationnaire. Chaque couleur représente une classe de véhicules et une direction de déplacement. Notez à gauche, indiqué par la flèche verte, la composante dynamique (historique), à droite la composante stationnaire (flèche bleue) et au milieu la phase transitoire pointillée.

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

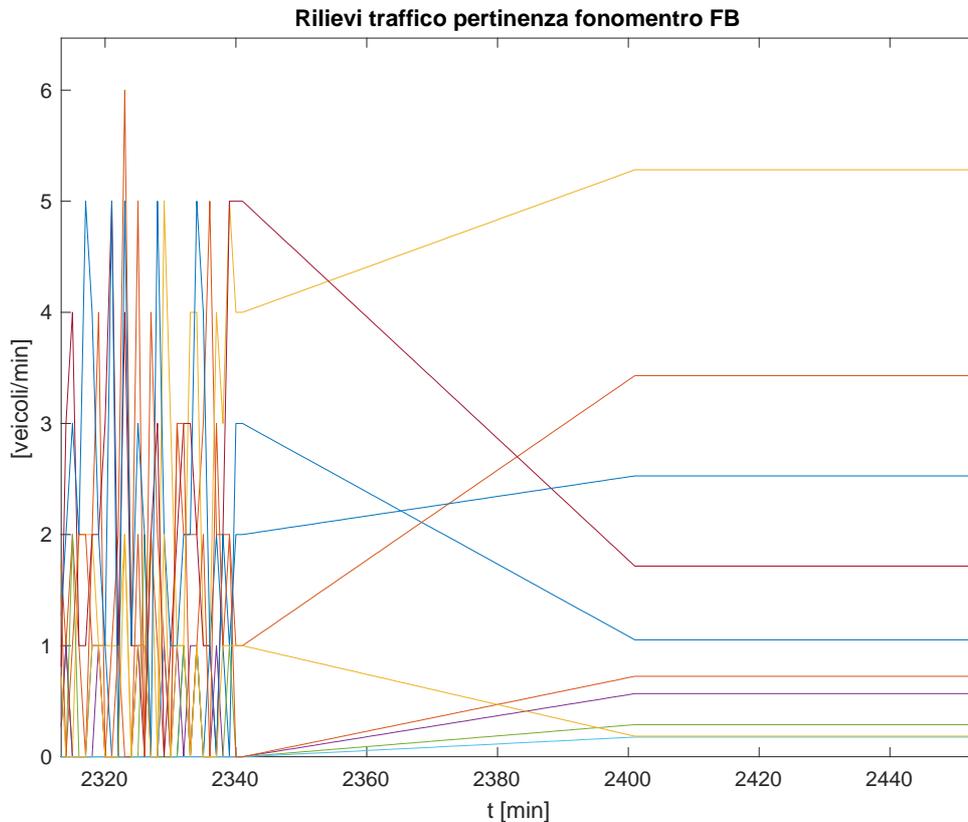


Figure IV.3 Détail du transitoire dans Figure IV.2. Chaque couleur représente une classe de véhicules et une direction de déplacement.

3. Résultats

Les résultats des scénarios sont présentés ci-dessous, accompagnés d'une brève description. À la fin du paragraphe, un résumé des estimations obtenues pour chaque station et chaque scénario est présenté.

3.1 Scénario 1

Ce scénario est lié à la situation actuelle dans la tranche de temps de 11 à 12 heures de la période de pointe et vise à vérifier la correspondance des simulations avec les données expérimentales, grâce à un étalonnage du modèle SUMO, utilisé comme générateur de données de trafic à fournir en entrée du modèle neuronal. La comparabilité des données expérimentales des données de trafic et des niveaux de pression acoustique avec les données correspondantes générées par les simulations numériques permettra de comparer des scénarios de facto, c'est-à-dire sans stratégies d'acheminement du trafic, avec des scénarios correspondants dans lesquels des stratégies spécifiques de gestion du trafic sont présentes..

Tableau IV.5 Composition du trafic de véhicules sur la base des données SUMO.

		Total des véhicules équivalents	Absolus de la simulation de transport					
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Tot
1A		931.85	84.43451	670.8706	132.0249	30.70346	8.635348	926.6688
1B		796.65	30.36014	602.3451	140.871	6.072027	10.62605	790.2744
1C		780.6	16.47222	309.3116	404.4844	29.28394	13.15489	772.7071
1D SORTIE DU PORT	dir 1	1227	341.3701	272.1299	260.8583	148.1417	127.8125	1150.313
1D DIRECTION PORT	dir2	703	26.62879	165.0985	372.803	69.23485	43.27178	677.0369
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	80.88164	292.6445	186.7631	49.99956	34.00705	644.2958
2A DIRECTION. SUD	dir2	502.05	48.1268	189.2258	161.881	56.87712	28.71201	484.8228
3A (SEULEMENT DIR. SUD)		405.45	15.73388	232.3773	142.8152	4.841194	6.051493	401.8191
3B DIR. NORD	dir 1	1056.6	43.93347	428.3514	522.8083	37.34345	15.10213	1047.539
3B DIR. SUD	dir2	960.75	34.89105	726.4815	173.2091	8.722763	10.90345	954.2079
3C DIR. SUD	dir 1	796.65	29.05714	602.9357	141.6536	6.053571	10.59375	790.2938
3C DIR. NORD	dir2	780.6	16.49155	307.8423	406.7915	29.31831	12.59771	773.0414

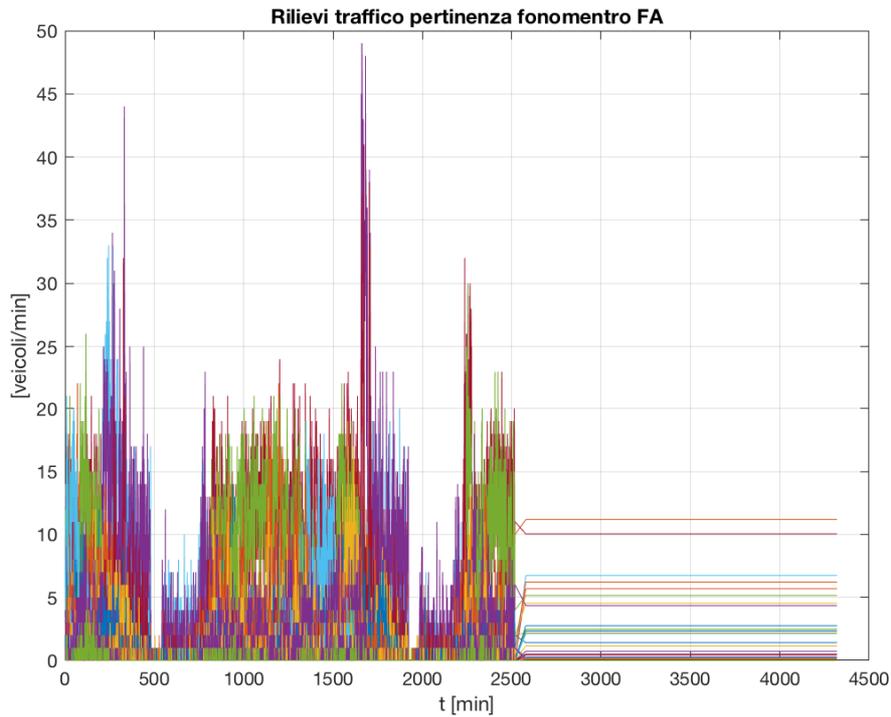


Figure IV.4 Diagramme du dataset synthétique complet pour le scénario 1 et les sections pertinentes du sonomètre A. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

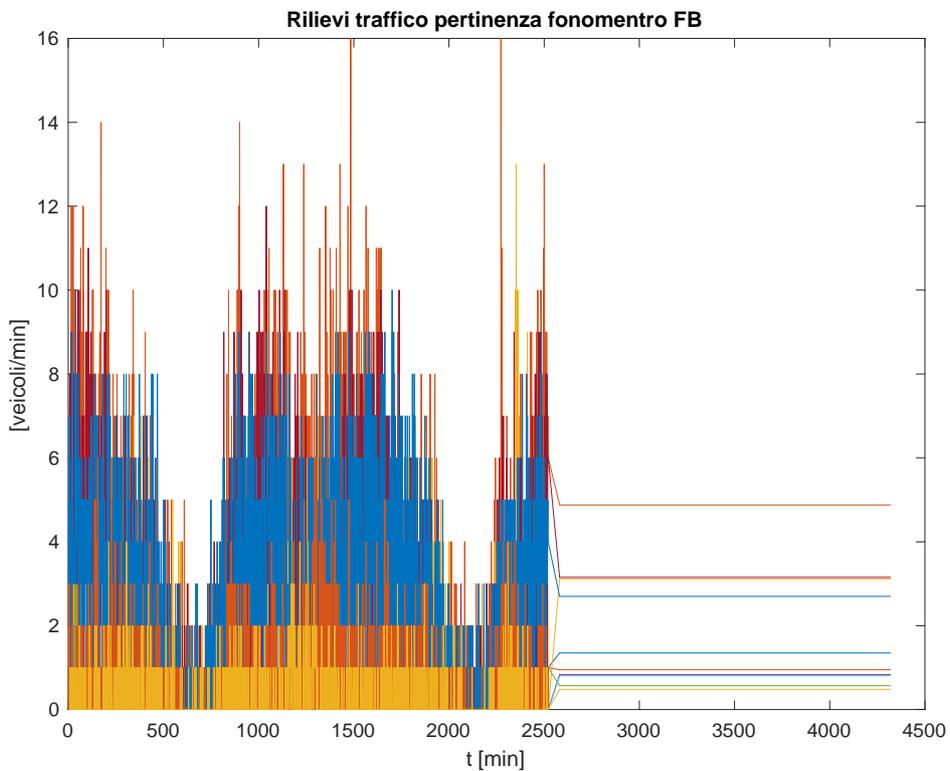


Figure IV.5 Diagramme du dataset synthétique complet pour le scénario 1 et les sections pertinentes du sonomètre B. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

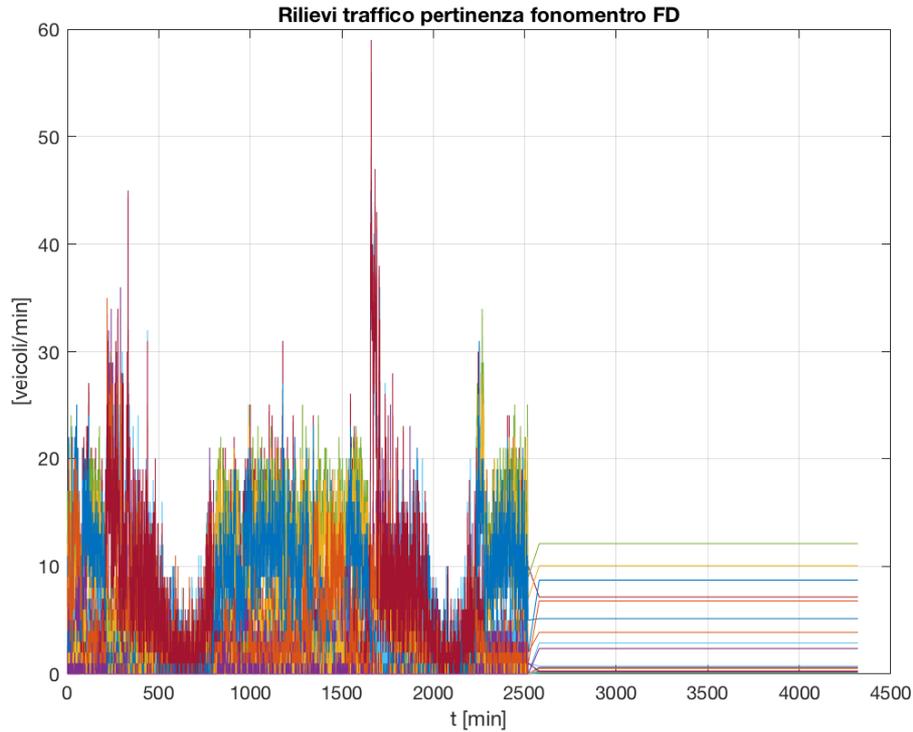


Figure IV.6 Diagramme du dataset synthétique complet pour le scénario 1 et les sections pertinentes du sonomètre D. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

3.1.1 Valeurs calculées par le modèle ANNM

Tableau IV.6 Valeurs prédites par le modèle ANN pour le scénario 1

	Scénario 1
FA	66.40 dB
FB	68.11 dB
FD	72.67 dB

3.1.2 Considérations pour le Scénario 1

Ce scénario représente la modélisation numérique d'une configuration globale très similaire à celle observée dans le créneau horaire entre 11 et 12 heures de la période de pointe pendant la campagne expérimentale au même moment et avec des conditions aux limites similaires. Les valeurs de débit et de bruit des véhicules sont proches et cohérentes avec celles acquises expérimentalement..

3.2 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 actives, les deux en direction du port et celle qui quitte le port sur le quai de l'Isola Bianca.

Tableau IV.7 Composition du trafic de véhicules sur la base des données SUMO.

		Total des véhicules équivalents	Absolus de la simulation de transport					Tot
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	
1A		821.65	74.44934	591.5339	116.4117	27.07249	7.614137	817.0815
1B		487.65	18.58422	368.711	86.23079	3.716845	6.504478	483.7473
1C		444.1	9.371395	175.974	230.1198	16.66026	7.4841	439.6095
1D SORTIE DU PORT	dir 1	1227	341.3701	272.1299	260.8583	148.1417	127.8125	1150.313
1D DIRECTION PORT	dir2	703	26.62879	165.0985	372.803	69.23485	43.27178	677.0369
1E			0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0
			0	0	0	0	0	0
2A DIR. NORD	dir 1	647.75	78.81914	285.182	182.0006	48.72456	33.13986	627.8661
2A DIR. SUD	dir2	326.45	31.29368	123.0411	105.2606	36.98344	18.66953	315.2483
3A (SEULEMENT DIR. SUD)		318.65	12.36552	182.6293	112.2409	3.804776	4.75597	315.7964
3B DIR. NORD	dir 1	780.4	32.44906	316.3784	386.1439	27.5817	11.15437	773.7074
3B DIR. SUD	dir2	565.85	20.54968	427.8736	102.0145	5.137419	6.421774	561.9969
3C DIR. SUD	dir 1	487.65	17.78663	369.0725	86.7098	3.705547	6.484707	483.7592
3C DIR. NORD	dir2	444.1	9.382394	175.138	231.4324	16.67981	7.167107	439.7997

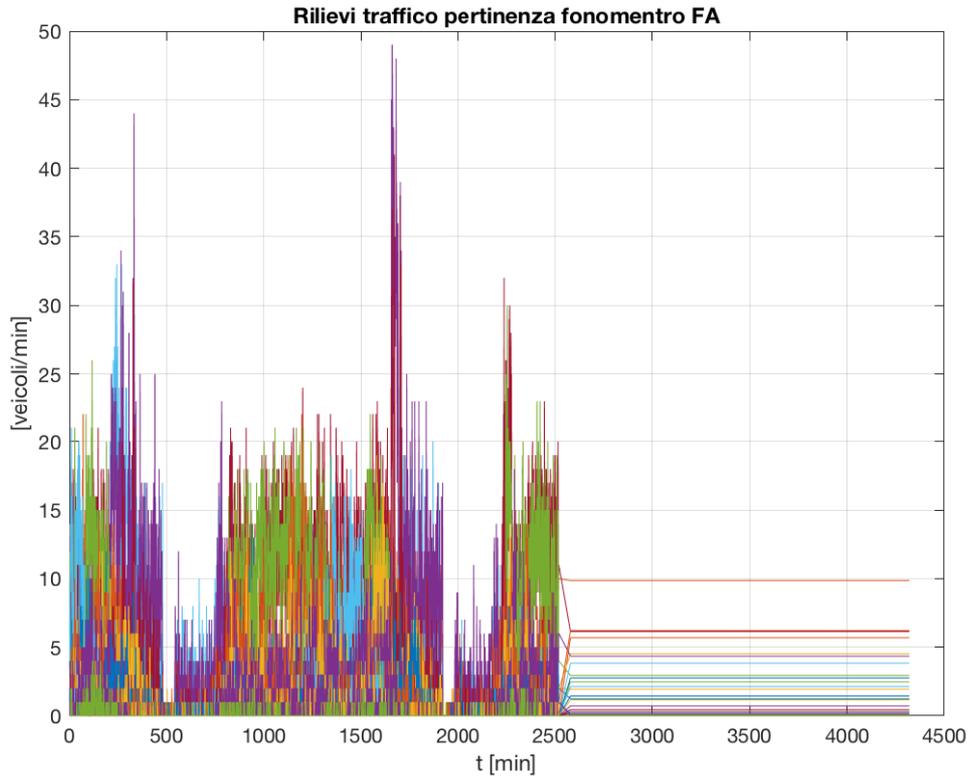


Figure IV.7 Diagramme du dataset synthétique complet pour le scénario 2 et les sections pertinentes du sonomètre A. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

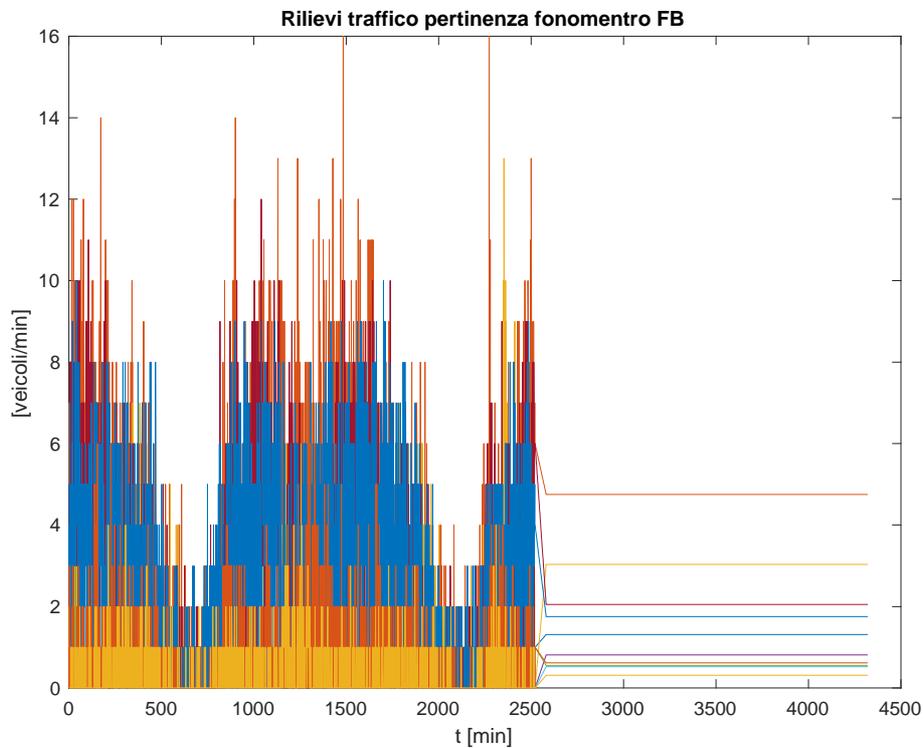


Figure IV.8 Diagramme du dataset synthétique complet pour le scénario 2 et les sections pertinentes du sonomètre B. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

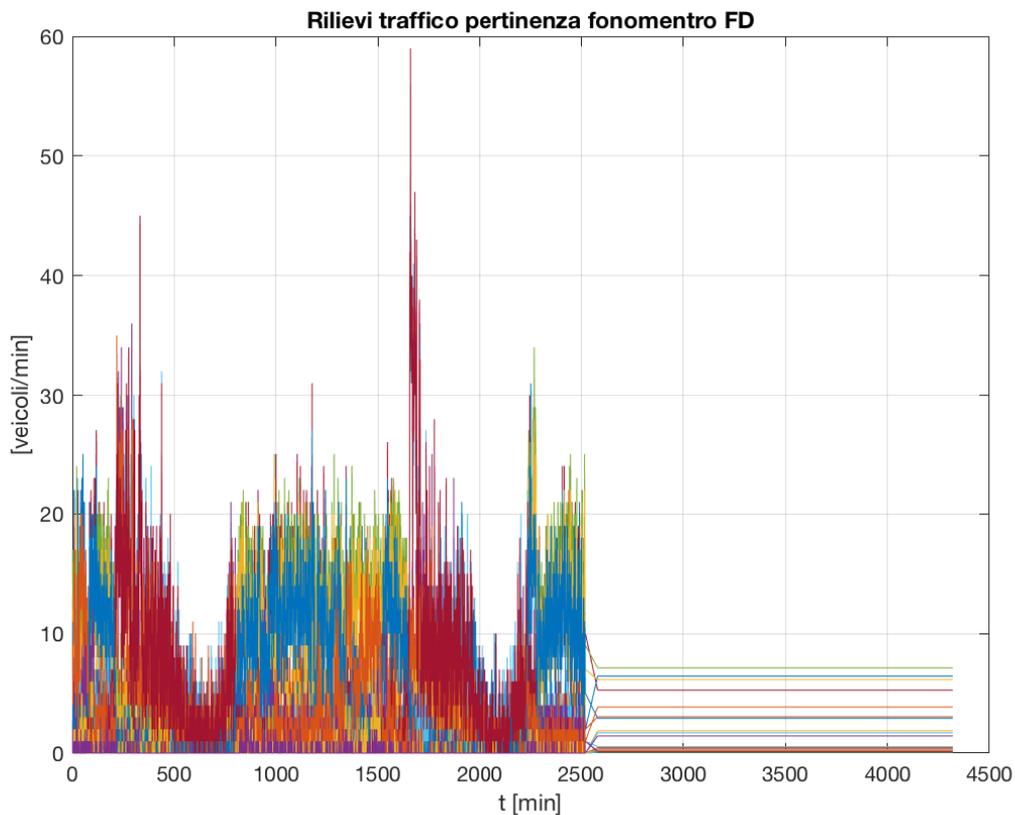


Figure IV.9 Diagramme du dataset synthétique complet pour le scénario 2 et les sections pertinentes du sonomètre D. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

3.2.1 Valeurs calculées par le modèle ANNM

Tableau IV.8 Valeurs prédites par le modèle ANN pour le scénario 2

	Scénario 2
FA	66.23 dB
FB	67.56 dB
FD	64.57 dB

3.2.2 Considérations pour le Scénario 2

Ce scénario simule la situation qui pourrait se produire si les flux de trafic étaient convenablement détournés par l'utilisation de panneaux à messages variables et de App afin d'atténuer le bruit sur le front de mer dans la tranche horaire comprise entre 11 heures et 12 heures de la période de pointe. Les valeurs de débit de véhicules et de bruit sont différentes de celles du scénario 1 [3.1]. On constate que les valeurs de LeqA sont en général plus faibles que dans le scénario 1, ce qui indique qu'une intervention de ce type produit sans aucun doute des bénéfices en termes d'atténuation du bruit généré par le trafic.

3.3 Scénario 3

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

Tableau IV.9 Composition du trafic de véhicules traitée à partir des données SUMO.

		Total des véhicules équivalents	Absolus de la simulation de transport					Tot
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	
1A		966.15	216.5509	516.3905	192.7541	19.03744	13.3857	958.1186
1B		507.4	16.274	404.5251	76.13906	5.812142	2.906071	505.6564
1C		485.5	26.35922	413.1654	38.00631	3.67803	2.681897	483.8909
1D SORTIE DU PORT	dir 1	325.2	4.690385	39.08654	196.2144	59.41154	16.1232	315.5261
1D DIREC. PORT	dir2	173.2	12.16015	39.10968	67.37381	33.52258	13.14611	165.3123
1E		983.55	35.12679	105.3804	807.9161	0	21.95424	970.3775
		125	44.11765	49.36975	23.10924	3.151261	3.282563	123.0305
			0	0	0	0	0	0
2A DIR. NORD	dir 1	648.05	63.16277	205.9106	317.0771	34.10789	17.36976	637.6281
2A DIR. SUD	dir2	340.25	11.09511	107.2527	158.1053	45.30503	11.5574	333.3156
3A (SEULEMENT DIR. SUD)		325.25	19.13235	176.9743	117.1857	1.195772	6.726218	321.2143
3B DIR. NORD	dir 1	800.05	43.05974	674.3156	64.58961	12.05673	3.767727	797.7894
3B DIR. SUD	dir2	592.7	19.06345	474.8532	87.22973	6.932164	2.888402	590.967
3C DIR. SUD	dir 1	507.4	16.34891	404.6354	75.90564	5.838895	2.919448	505.6483
3C DIR. NORD	dir2	513.7	27.92554	437.7166	39.6153	3.896587	2.841261	511.9952

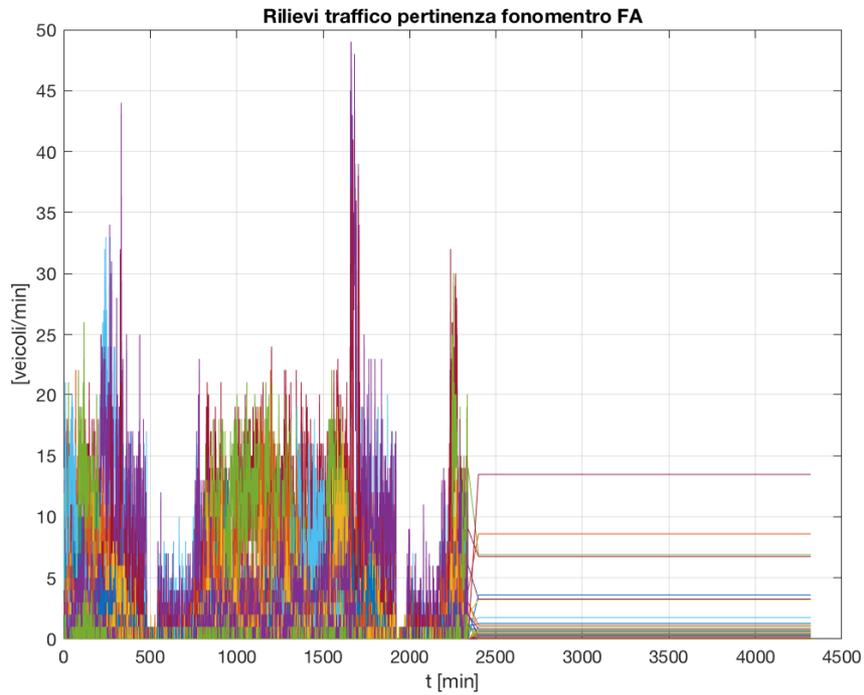


Figure IV.10 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 3 et les sections pertinentes du sonomètre A. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

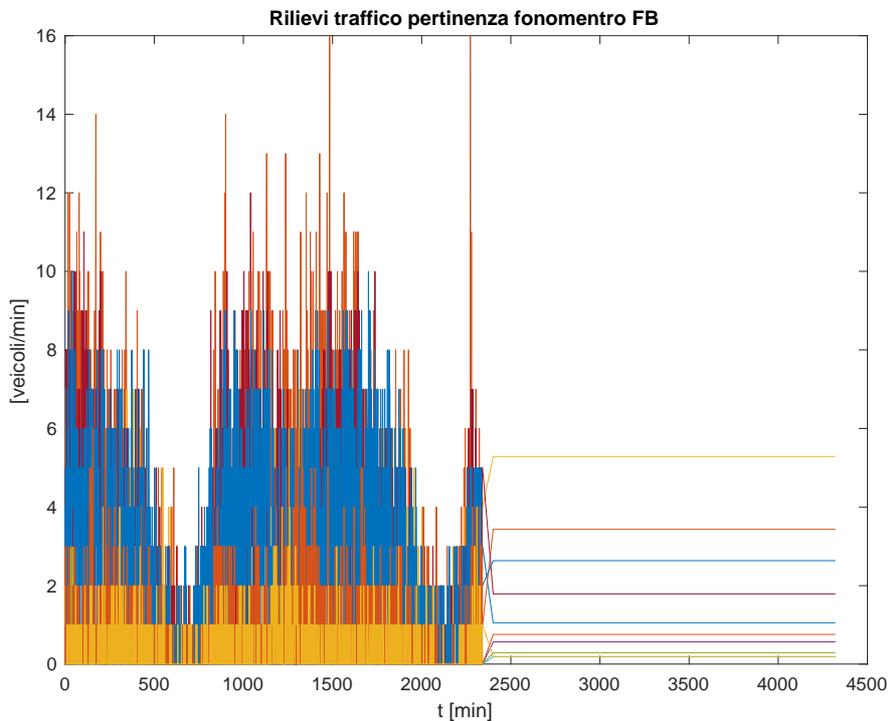


Figure IV.11 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 3 et les sections pertinentes du sonomètre B. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

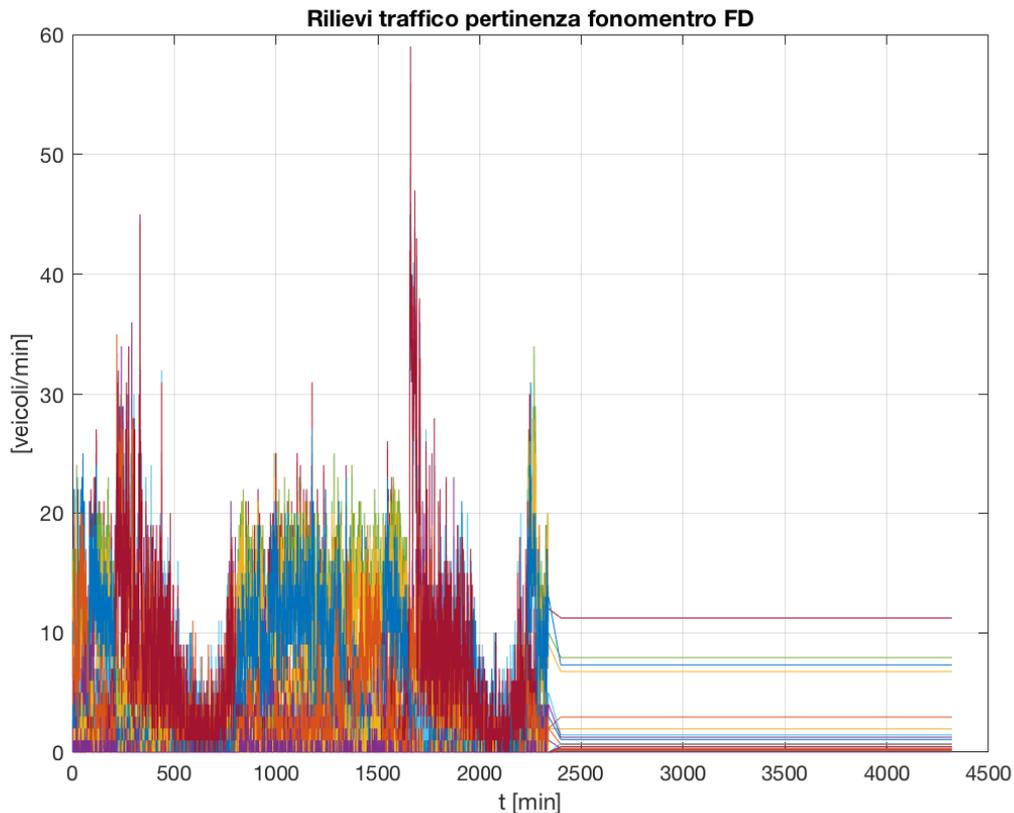


Figure IV.12 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 3 et les sections pertinentes du sonomètre D. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

3.3.1 Valori calcolati dal modello ANNM

Tableau IV.10 Valeurs prédites par le modèle ANN pour le scénario 3

	Scénario 3
FA	70.93 dB
FB	67.96 dB
FD	73.57 dB

3.3.2 Considérations pour le scénario 3

Ce scénario représente la modélisation numérique d'une configuration globale très similaire à celle observée dans la tranche horaire comprise entre 08:00 et 09:00 de la période de pointe pendant la campagne expérimentale au même moment et avec des conditions aux limites similaires (par analogie avec ce qui a été dit au paragraphe 3.1). Tant les valeurs liées aux flux de véhicules que celles liées au bruit sont proches et cohérentes avec celles acquises expérimentalement.

3.4 Scénario 4

Il s'agit du scénario de conception, dans le créneau horaire 8:00-9:00, où un grand navire est censé partir et arriver à l'heure de pointe. Cela génère un débit de 530 veic/h en direction du port et de 900 veic/h en sortie du port. Ce scénario est celui qui se produit sans redirection en raison des PMV et de l'App.

Tableau IV.11 Composition du trafic de véhicules traitée à partir des données SUMO.

		Total des véhicules équivalents	Absolus de la simulation de transport					Tot
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	
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 DIR. 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 DIR. NORD	dir 1	664.7	64.78558	211.201	325.2236	34.98421	17.81603	654.0104
2A DIR. SUD	dir2	502.05	16.3712	158.2549	233.2895	66.84905	17.05333	491.818
3A (SEULEMENT DIR. SUD)		405.45	23.85	220.6125	146.0813	1.490625	8.384766	400.4191
3B DIR. NORD	dir 1	1056.6	56.8676	890.5466	85.3014	15.92293	4.975915	1053.614
3B DIR. SUD	dir2	960.75	30.90132	769.7237	141.3969	11.23684	4.682018	957.9408
3C DIR. SUD	dir 1	796.65	25.66881	635.3032	119.1766	9.167434	4.583717	793.8998
3C DIR. NORD	dir2	780.6	42.43464	665.1383	60.19798	5.921113	4.317478	778.0095

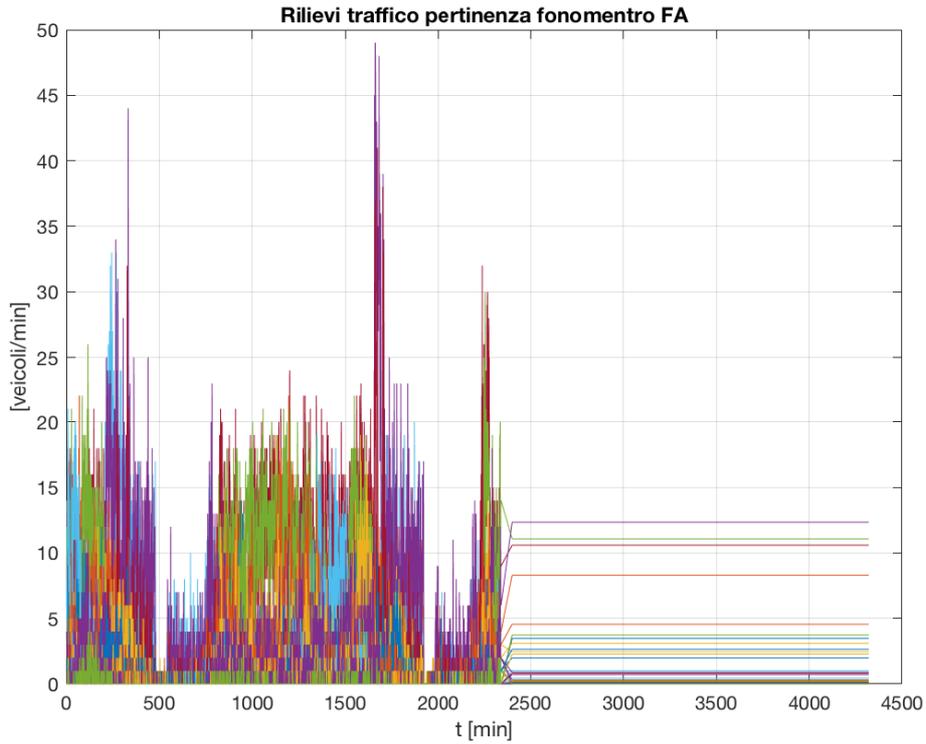


Figure IV.13 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 4 et les sections pertinentes du sonomètre A. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

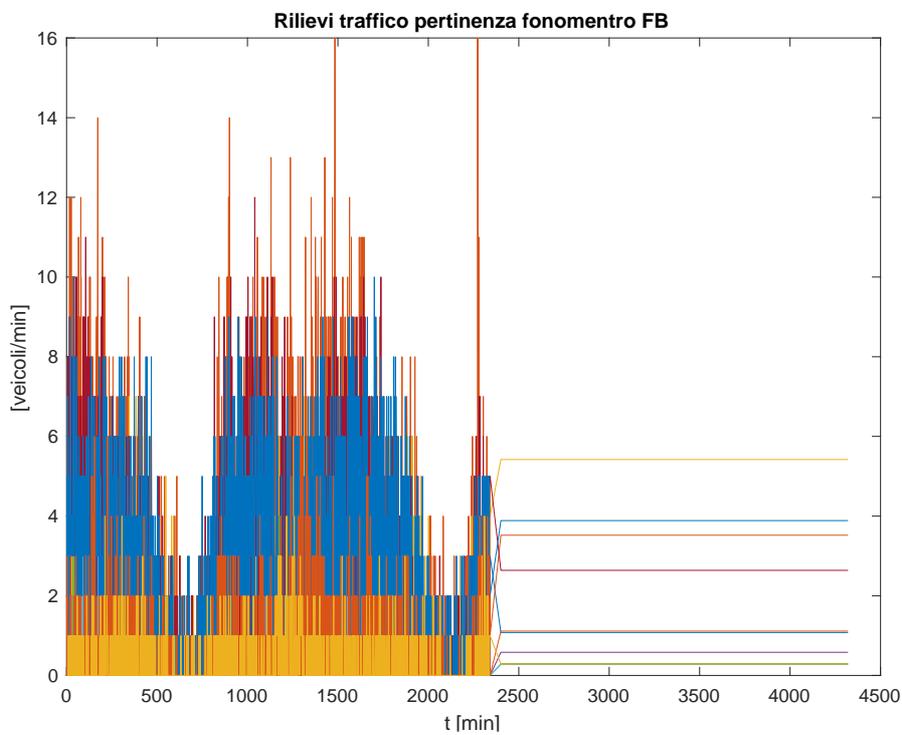


Figure IV.14 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 4 et les sections pertinentes du sonomètre B. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

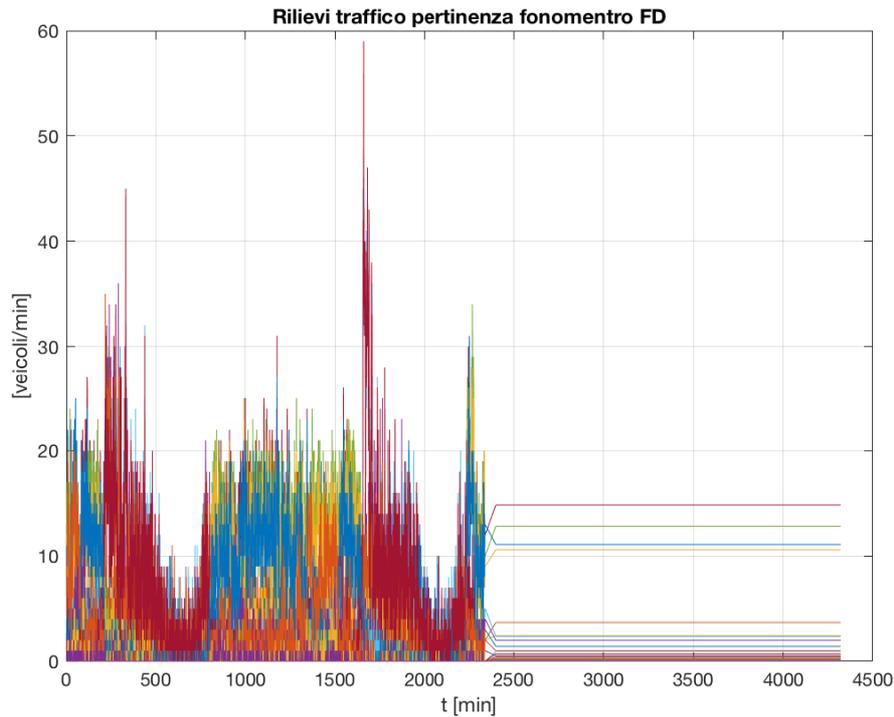


Figure IV.15 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 4 et les sections pertinentes du sonomètre D. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

3.4.1 Valeurs calculées par le modèle ANNM

Tableau IV.12 Valeurs prédites par le modèle ANN pour le scénario 4

	Scénario 4
FA	68.30 dB
FB	68.36 dB
FD	74.11 dB

3.4.2 Considérations pour le scénario 4

Ce scénario, contrairement à celui décrit au paragraphe 3.4, ci-après, simule la situation qui pourrait être enregistrée si les flux de trafic n'étaient pas détournés de manière appropriée par l'utilisation de panneaux à messages variables et de PPA afin d'atténuer le bruit en façade portuaire dans la bande de temps comprise entre 8 et 9 heures en période de pointe, lorsque le départ et l'arrivée d'un grand navire sont prévus. Les valeurs de débit de véhicules et de bruit sont nettement supérieures à celles du scénario 4 [3.4]. On peut constater que les valeurs L_{eqA} sont en général plus élevées que dans le scénario 4, ce qui indique que sans l'atténuation du bruit généré par le trafic, les valeurs équivalentes du niveau sonore aux points d'observation seraient nettement plus élevées.

3.5 Scénario 5

Il s'agit du scénario de conception, dans le créneau horaire 8:00-9:00, où un grand navire est censé partir et arriver à l'heure de pointe. Cela génère un débit de 530 veic/h en direction du port et de 900 veic/h en sortie du port. Ce scénario est celui qui se produit avec la redirection due aux PMV et aux Apps.

Tableau IV.13 Composition du trafic de véhicules traitée à partir des données SUMO.

		Total des véhicules équivalents	Absolus de la simulation de transport					Tot
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	
1A		821.65	184.1629	439.1578	163.9252	16.19015	11.3837	814.8198
1B		487.65	15.64055	388.7794	73.17543	5.585911	2.792955	485.9742
1C		444.1	24.11149	377.9336	34.7654	3.364394	2.453204	442.6281
1D SORTIE DU PORT	dir 1	1227	17.69712	147.476	740.3293	224.1635	60.83383	1190.5
1D DIR. 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 DIR. NORD	dir 1	647.75	63.13353	205.8153	316.9303	34.09211	17.36172	637.333
2A DIR. SUD	dir2	326.45	10.64511	102.9027	151.6928	43.46753	11.08865	319.7968
3A (SEULEMENT DIR. SUD)		318.65	18.74412	173.3831	114.8077	1.171507	6.589729	314.6962
3B DIR. NORD	dir 1	780.4	42.00215	657.7537	63.00323	11.7606	3.675188	778.1949
3B DIR. SUD	dir2	565.85	18.19985	453.3418	83.27812	6.618129	2.757554	564.1955
3C DIR. SUD	dir 1	487.65	15.71254	388.8854	72.95109	5.611623	2.805811	485.9665
3C DIR. NORD	dir2	444.1	24.14197	378.4114	34.24791	3.368647	2.456305	442.6262

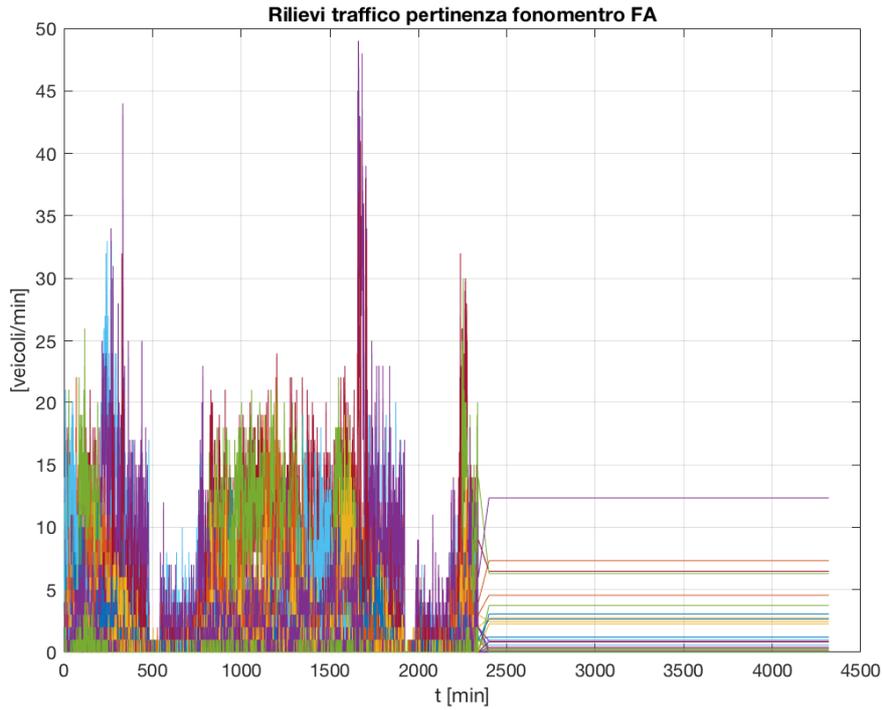


Figure IV.16 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 5 et les sections pertinentes du sonomètre A. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

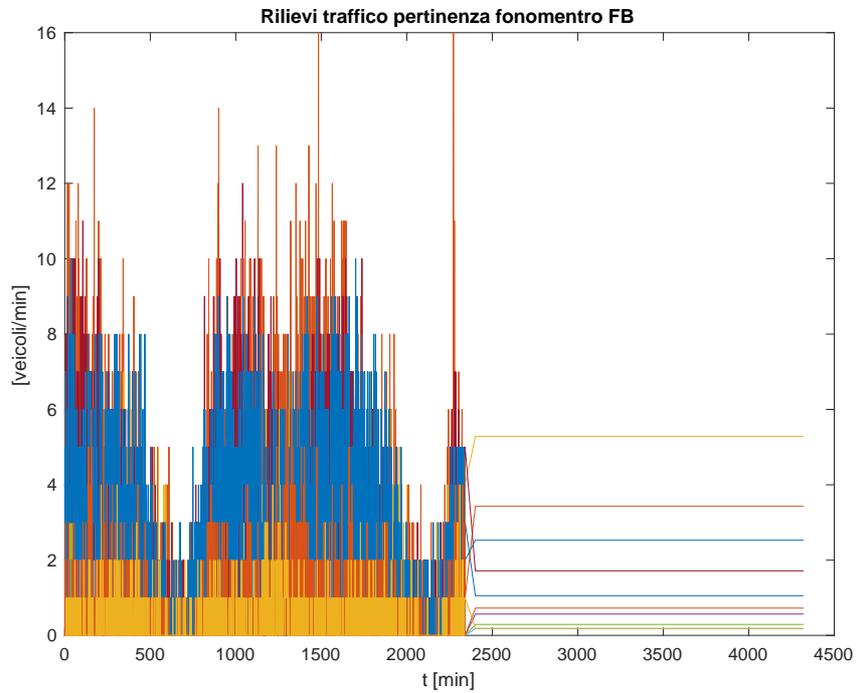


Figure IV.17 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 5 et les sections pertinentes du sonomètre B. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

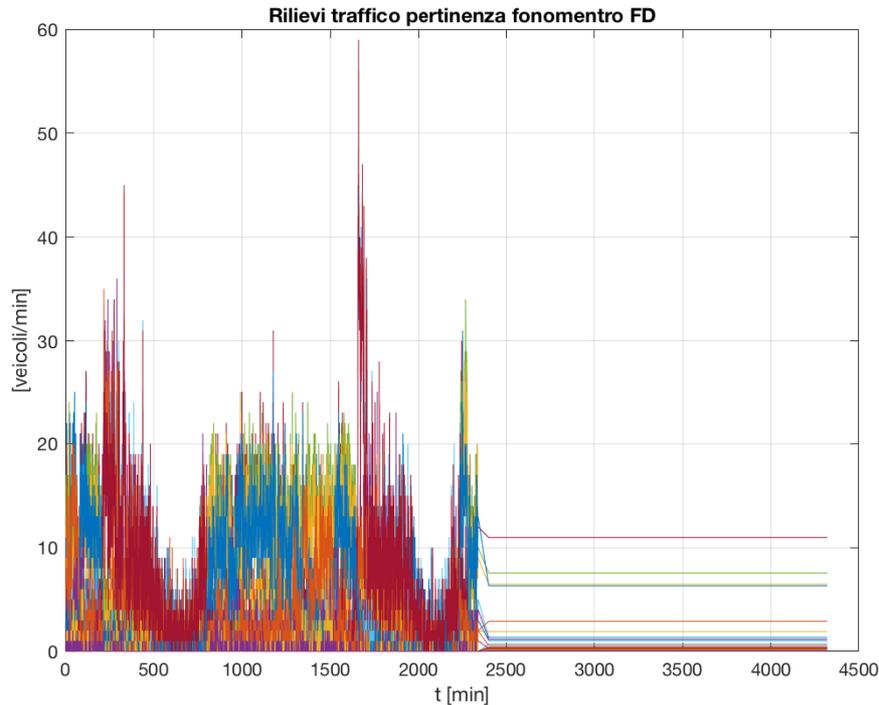


Figure IV.18 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 5 et les sections pertinentes du sonomètre D. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement.

3.5.1 Valeurs calculées par le modèle ANNM

Tabella IV.14 Valeurs prédites par le modèle ANN pour le scénario 5

	Scénario 5
FA	67.91 dB
FB	67.93 dB
FD	73.55 dB

3.5.2 Considérations pour le scénario 5

Ce scénario simule la situation qui pourrait être enregistrée si les flux de trafic étaient convenablement détournés par l'utilisation de panneaux à messages variables et de PPA afin d'atténuer le bruit sur le front de mer dans la bande de temps comprise entre 8 et 9 heures du matin pendant la période de pointe. Les valeurs de débit de véhicules et de bruit sont sensiblement différentes de celles du scénario 4 [3.4]. On peut constater que les valeurs de L_{eqA} sont en général plus faibles que dans le scénario 4, ce qui indique qu'une intervention de ce type produit sans aucun doute des avantages substantiels en termes d'atténuation du bruit de la circulation.

4. 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 prévoir 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 les réseaux de neurones offre l'avantage de pouvoir apprécier de manière dynamique et plus granulaire la tendance temporelle du phénomène physique et la corrélation entre la cause (flux de véhicules), les conditions aux limites (à considérer comme une concave en termes de sources de bruit de fond) et l'effet considéré comme un bruit total mesurable aux points d'observation.

Comme on peut l'observer dans le Tableau IV.15, on peut apprécier un effet significatif des interventions de réacheminement sur le bruit estimé.

Tableau IV.15 Tableau récapitulatif des valeurs prédites par le modèle ANN pour chaque scénario.

	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

La référence croisée au paragraphe descriptif pertinent est active pour chaque scénario. En outre, afin de faciliter la lecture et la comparaison des données résumées dans le Tableau IV.15, a même couleur a été utilisée pour les cellules relatives aux scénarios de trafic ayant les mêmes conditions aux limites et comparables entre elles. En considérant le créneau horaire de 11 à 12 (période de pointe), on peut noter que les valeurs estimées par le modèle ANNM pour le **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** indiquent une atténuation du bruit en chaque point d'observation (par rapport au **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** avec une réduction sensible du point d'observation FD en raison de l'effet plus important sur les flux de véhicules généré par le détournement dans les routes proches de ce point de mesure du bruit.

De même, pour la période de pointe de 8 à 9, 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 en supposant un important détournement du trafic au moyen de véhicules particuliers et de PPA. Cette estimation indique un bénéfice qui pourrait être produit par des interventions appropriées de réacheminement du trafic visant à atténuer le bruit, qui n'affectent toutefois pas les activités portuaires normales.

Index des figures

Figure I.1: Schématisation du système ITS.....	5
Figure I.1: Représentation d'un réseau de neurones biologiques.....	7
Figure I.2. Schématisation d'une structure d'un réseau neuronal artificiel.	7
Figure I.3: Gamme avec tendance de niveau équivalent Leq _e du spectre.....	9
Figure I.4: Évolution temporelle du niveau de pression acoustique pendant la ligne de temps de la période de mesure douce	10
Figure I.5: Tendance de la circulation des véhicules et du bruit détecté. Les périodes auxquelles se réfèrent les données considérées pour l'ensemble de formation et l'ensemble de test avec la première stratégie "inter-spaced multiple time spans" sont mises en évidence.	11
Figure I.6: Tendance de la circulation des véhicules et du bruit détecté. Les périodes auxquelles se réfèrent les données considérées pour l'ensemble de formation et l'ensemble de test avec la deuxième stratégie sont mises en évidence.	11
Figure I.7: Erreur lors de la phase de test entre les valeurs mesurées et les valeurs simulées par le modèle.....	12
Figure I.8: Variance des échantillons de véhicules par classes de véhicules	13
Figure I.9: Valeurs des nombres moyen, médian, minimum et maximum de passages par classe de véhicule et par sens de déplacement.....	13
Figure I.10: Répartition de la fréquence du nombre de passages par minute par classe de véhicule et par sens de circulation (sens 1) à la station B	14
Figure I.11: Distribution de fréquence du nombre de passages par minute par classe de véhicule et par direction (direction 2) pour la station B.....	15
Figure I.12 : Position du microphone A	18
Figure I.13: Sections d'étude de la circulation pertinentes pour la station de nivellement acoustique A.....	18
Figure I.14: Diagrammes représentatifs de l'évolution de certaines variables indicatives des performances de la phase de formation du réseau, par rapport à la station A.....	20
Figure I.15: Leq _A acquis expérimentalement (vert) et prédit par ANN (points rouges), en haut. Différence entre les valeurs calculées et expérimentales, en bas. Station A période douce 25-28Mars 2019.	20
Figure I.16: Leq _A acquis expérimentalement (vert) et prédit par ANN (points rouges), en haut. Différence entre les valeurs calculées et expérimentales, en bas. Station A période de pointe 23-26 août.	21
Figure II.1 Localisation des sections pertinentes - intersections	25
Figure II.2 TGM des sections_période d'automne.....	26
Figure II.3 Comparaison des courbes de temps de la période sections_automne	27
Figure II.4 TGM des sections_période estivale	29
Figure II.5 Comparaison des courbes de temps des sections_période estivale	30
Figure II.6 comparaison été-automne des 13 sections de surveillance.....	32

Figure II.7 Comparaison des deux courbes quotidiennes été-automne dans les 13 sections de l'enquête	33
Figure II.8 Localisation des intersections 1	47
Figure II.9 Localisation des intersections 2	47
Figure II.10 Localisation des intersections 3	47
Figure II.11 Localisation des intersections 4	47
Figure II.12 Localisation des intersections 5	48
Figure II.13 Localisation des intersections 6	48
Figure II.14 Localisation des intersections 7	48
Figure II.15 Localizzazione intersezione 8	48
Figure II.16 Comparaison des secours d'été et d'automne 7:30÷9:00	49
Figure II.17 Heures de pointe en été	49
Figure II.18 Heures de pointe en automne	49
Figure II.19 Comparaison des secours d'été et d'automne 17:30÷19:00	50
Figure II.20 L'heure de pointe de l'été_ Soirée	50
Figure II.21 L'heure de pointe de l'été_ Soirée	50
Figure II.22 Distribution des flux de trafic (véhicules/heure) à l'heure de pointe du matin d'été.....	52
Figure II.23 Répartition des flux de trafic (véhicules/heure) à l'heure de pointe de l'après-midi d'été.....	53
Figure II.24 Répartition des flux de trafic (véhicules/heure) à l'heure de pointe de l'après-midi en automne	54
Figura II.25 Répartition des flux de trafic (véhicules/heure) à l'heure de pointe de l'après-midi en automne	55
Figura II.26 Archi congestionati	56
Figure II.27 Simulation dynamique	58
Figure II.28: Les zones les plus encombrées	60
Figure II.29: Points de surveillance du trafic sur le réseau routier fondamental d'Olbia	61
Figura II.30 – I punti di verifica del livello di congestione stradale	62
Figure II.31– Localisation et nombre de blessés/morts dans la région d'Olbia	64
Figure III.1 – Le VMP existant près du port - emplacement général.....	67
Figure III.2 – Le PMV existant dans l'accès côtier sud du port - localisation générale	68
Figure III.3 – Le nouveau PMV no.1 - localisation générale	69
Figure III.4 – Le nouveau PMV n°2 - localisation générale	69
Figure III.5 – Détecteur de trafic n° 1 dans le Viale Banchina Isola Bianca.....	73
Figure III.6 – Détecteur de trafic n° 2 à Viale Isola Bianca.....	73
Figure III.7 – Détecteur de trafic n° 3 sur la SS125.....	74
Figure III.8 – Détecteur de trafic n° 4 sur la SS125.....	74
Figure III.9 – Plan de localisation des infrastructures de détection et d'info-mobilité.....	75
Figure IV.1: Emplacement des sonomètres et des capteurs de trafic dans la zone urbaine du waterfront de la ville portuaire d'Olbia pendant les campagnes expérimentales de 2019..	77

Figure IV.2 Exemple de dataset synthétique, complet avec terme dynamique, transitoire et stationnaire. Chaque couleur représente une classe de véhicules et une direction de déplacement. Notez à gauche, indiqué par la flèche verte, la composante dynamique (historique), à droite la composante stationnaire (flèche bleue) et au milieu la phase transitoire pointillée..... 82

Figure IV.3 Détail du transitoire dans Figure IV.2. Chaque couleur représente une classe de véhicules et une direction de déplacement..... 83

Figure IV.4 Diagramme du dataset synthétique complet pour le scénario 1 et les sections pertinentes du sonomètre A. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 85

Figure IV.5 Diagramme du dataset synthétique complet pour le scénario 1 et les sections pertinentes du sonomètre B. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 85

Figure IV.6 Diagramme du dataset synthétique complet pour le scénario 1 et les sections pertinentes du sonomètre D. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 86

Figure IV.7 Diagramme du dataset synthétique complet pour le scénario 2 et les sections pertinentes du sonomètre A. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 88

Figure IV.8 Diagramme du dataset synthétique complet pour le scénario 2 et les sections pertinentes du sonomètre B. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 88

Figure IV.9 Diagramme du dataset synthétique complet pour le scénario 2 et les sections pertinentes du sonomètre D. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 89

Figure IV.10 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 3 et les sections pertinentes du sonomètre A. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 91

Figure IV.11 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 3 et les sections pertinentes du sonomètre B. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 91

Figure IV.12 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 3 et les sections pertinentes du sonomètre D. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 92

Figure IV.13 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 4 et les sections pertinentes du sonomètre A. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 94

Figure IV.14 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 4 et les sections pertinentes du sonomètre B. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 94

Figure IV.15 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 4 et les sections pertinentes du sonomètre D. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 95

Figure IV.16 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 5 et les sections pertinentes du sonomètre A. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 97

Figure IV.17 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 5 et les sections pertinentes du sonomètre B. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 97

Figure IV.18 Diagramme de l'ensemble des données synthétiques complètes pour le scénario 5 et les sections pertinentes du sonomètre D. Chaque couleur représente une classe de véhicule et une direction de déplacement. 98

Index des tableaux

Tableau II.1 Emplacement des sections et des intersections pertinentes	26
Tableau II.2 Valeurs TGM dans les sections_période d'automne	27
Tableau II.3 Courbes horaires. Valeurs maximales et périodes de référence_ Période d'automne	28
Tableau II.4 Valeurs TGM dans les sections de la période estivale	29
Tableau II.5 des courbes horaires. Valeurs maximales et périodes de référence_ Période estivale	31
Tableau II.6 comparaison été-automne des 13 sections de surveillance	32
Tableau II.7 Comparaison été-automne, section 1-1'	34
Tableau II.8 Comparaison été-automne section 2	35
Tableau II.9 Comparaison été-automne section 3	36
Tableau II.10 Comparaison été-automne section 4	37
Tableau II.11 Comparaison été-automne section 5	38
Tableau II.12 Comparaison été-automne section 6	39
Tableau II.13 Comparaison été-automne section 7	40
Tableau II.14 Comparaison été-automne section 8	41
Tableau II.15 Comparaison été-automne section 9	42
Tableau II.16 Comparaison été-automne section 10	43
Tableau II.17 Comparaison été-automne section 11	44
Tableau II.18 Comparaison été-automne section 12	45
Tableau II.19 Comparaison été-automne section 13	46
Tableau II.20 Macro caractéristiques des simulations	56
Tableau II.21: Flux détectés dans les deux sections d'accès/d'évacuation les plus importantes de la zone urbaine d'Olbia	61
Tableau II.22: Les flux simulés aux points indiqués dans les Figure II.29	62
Tableau III.1: Localisation des PMV n° 1 et 2	68
Tableau III.2: Emplacement des détecteurs de trafic	72
Tableau IV.1 Données d'identification des stations de mesure du niveau sonore.	78
Tableau IV.2 Composition horaire de la circulation automobile de 11h à 12h le 26 août 2019 en valeur absolue. (Valeurs mesurées expérimentalement)	79
Tableau IV.3 Composition horaire de la circulation automobile de 11 h à 12 h le 26 août 2019 en termes relatifs.....	79
Tableau IV.4 Composition horaire du trafic automobile de 11 h à 12 h. Données de synthèse avec une distribution équivalente à celle de l'expérimentation mesurée de 11 h à 12 h le 26 août 2019.....	80
Tableau IV.5 Composition du trafic de véhicules sur la base des données SUMO.	84
Tableau IV.6 Valeurs prédites par le modèle ANN pour le scénario 1	86
Tableau IV.7 Composition du trafic de véhicules sur la base des données SUMO.	87

Tableau IV.8 Valeurs prédites par le modèle ANN pour le scénario 2	89
Tableau IV.9 Composition du trafic de véhicules traitée à partir des données SUMO.....	90
Tableau IV.10 Valeurs prédites par le modèle ANN pour le scénario 3	92
Tableau IV.11 Composition du trafic de véhicules traitée à partir des données SUMO.....	93
Tableau IV.12 Valeurs prédites par le modèle ANN pour le scénario 4.....	95
Tableau IV.13 Composition du trafic de véhicules traitée à partir des données SUMO.....	96
Tabella IV.14 Valeurs prédites par le modèle ANN pour le scénario 5	98
Tableau IV.15 Tableau récapitulatif des valeurs prédites par le modèle ANN pour chaque scénario.	99

Bibliografia

- Brandes, T.S., 2008. Feature vector selection and use with hidden markov models to identify frequency-Modulated bioacoustic signals amidst noise. *IEEE Trans. Audio Speech Lang. Process.* 16, 1173–1180. <https://doi.org/10.1109/TASL.2008.925872>
- Dhanalakshmi, P., Palanivel, S., Ramalingam, V., 2011. Classification of audio signals using AANN and GMM. *Appl. Soft Comput. J.* 11, 716–723. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.12.033>
- Erhan, D., Szegedy, C., Toshev, A., Anguelov, D., 2014. Scalable object detection using deep neural networks. Presented at the Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 2155–2162. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2014.276>
- Fagerlund, S., 2007. Bird species recognition using support vector machines. *Eurasip J. Adv. Signal Process.* 2007. <https://doi.org/10.1155/2007/38637>
- Halkias, X.C., Paris, S., Glotin, H., 2013. Classification of mysticete sounds using machine learning techniques. *J. Acoust. Soc. Am.* 134, 3496–3505. <https://doi.org/10.1121/1.4821203>
- Kudo, M., Toyama, J., Shimbo, M., 1999. Multidimensional curve classification using passing-through regions. *Pattern Recognit. Lett.* 20, 1103–1111. [https://doi.org/10.1016/S0167-8655\(99\)00077-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8655(99)00077-X)
- Lecun, Y., Bengio, Y., Hinton, G., 2015. Deep learning. *Nature* 521, 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Schmidhuber, J., 2015. Deep Learning in neural networks: An overview. *Neural Netw.* 61, 85–117. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.09.003>
- Zhang, Y.-J., Huang, J.-F., Gong, N., Ling, Z.-H., Hu, Y., 2018. Automatic detection and classification of marmoset vocalizations using deep and recurrent neural networks. *J. Acoust. Soc. Am.* 144, 478–487. <https://doi.org/10.1121/1.5047743>
- Sollai F., Baccoli R., Medda A., Fancello G., Serra P., Fadda P., 2020. Processes for Noise Reduction in Urban Port Fronts. In: Gervasi O. et al. (eds) *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020*. ICCSA 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12255. Springer, Cham., 29-39, https://doi.org/10.1007/978-3-030-58820-5_3
- Brandes, T.S., 2008. Feature vector selection and use with hidden markov models to identify frequency-Modulated bioacoustic signals amidst noise. *IEEE Trans. Audio Speech Lang. Process.* 16, 1173–1180. <https://doi.org/10.1109/TASL.2008.925872>
- Dhanalakshmi, P., Palanivel, S., Ramalingam, V., 2011. Classification of audio signals using AANN and GMM. *Appl. Soft Comput. J.* 11, 716–723. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.12.033>
- Erhan, D., Szegedy, C., Toshev, A., Anguelov, D., 2014. Scalable object detection using deep neural networks. Presented at the Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 2155–2162. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2014.276>
- Fagerlund, S., 2007. Bird species recognition using support vector machines. *Eurasip J. Adv. Signal Process.* 2007. <https://doi.org/10.1155/2007/38637>
- Halkias, X.C., Paris, S., Glotin, H., 2013. Classification of mysticete sounds using machine learning techniques. *J. Acoust. Soc. Am.* 134, 3496–3505. <https://doi.org/10.1121/1.4821203>
- Kudo, M., Toyama, J., Shimbo, M., 1999. Multidimensional curve classification using passing-through regions. *Pattern Recognit. Lett.* 20, 1103–1111. [https://doi.org/10.1016/S0167-8655\(99\)00077-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8655(99)00077-X)
- Lecun, Y., Bengio, Y., Hinton, G., 2015. Deep learning. *Nature* 521, 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>

Schmidhuber, J., 2015. Deep Learning in neural networks: An overview. Neural Netw. 61, 85–117.
<https://doi.org/10.1016/j.neunet.2014.09.003>

Zhang, Y.-J., Huang, J.-F., Gong, N., Ling, Z.-H., Hu, Y., 2018. Automatic detection and classification of marmoset vocalizations using deep and recurrent neural networks. J. Acoust. Soc. Am. 144, 478–487.
<https://doi.org/10.1121/1.5047743>.