

## PROGETTO REPORT

### “Rumore e Porti”

CUP [D36C18000220006]

### Output T2.1

# [Modelli transfrontalieri di simulazione e scenari previsionali per la valutazione del rumore portuale]

## Componente [T2 Creazione di Modelli di Simulazione e Scenari Previsionali per la Valutazione del Rumore Portuale]

Data di consegna prevista: [01\_2021]

Data di consegna effettiva: [03\_2021]

Organizzazione responsabile: [CSTB]

Livello di diffusione		
<b>PU</b>	Pubblico	<b>X</b>
<b>CO</b>	Confidenziale, solo per i partner	

## Sommario

1. Prodotto T2.1.1 e T2.1.2: Report tecnico sullo sviluppo del modello di simulazione e Funzionalità “Porto” all’interno di MithraSIG. ....	4
2. Prodotto T2.2.1: Report analisi regime di moto di composizione del traffico e di manto stradale. ....	7
PREMESSA .....	7
2.1 ANALISI ACUSTICA AMBIENTALE .....	8
2.2 ANALISI ACUSTICA PRELIMINARE .....	8
2.3 RILIEVI ACUSTICI E DEL TRAFFICO VEICOLARE .....	11
3. Prodotto T2.2.2: Report analisi regolazione traffico.....	17
3.1 ELABORAZIONE DEL MODELLO SPERIMENTALE PREVISIONALE DI EMISSIONE ACUSTICA .....	17
3.2 RISULTATI DEL MODELLO NEURALE .....	21
3.3 Risultati postazione fonometrica A - Postazione di misura rotatoria Sacro Cuore (marzo, agosto 2019).....	23
3.4 Considerazioni sui risultati ottenuti e conclusioni.....	24
3.5 La costruzione del modello di traffico con il software sumo.....	27
Premessa.....	27
3.6 Il modello di simulazione .....	32
3.7 I risultati del modello all’equilibrio .....	33
3.8 I risultati del modello dinamico .....	33
3.9 ANALISI DEI FLUSSI ATTUALI .....	34
3.10 Incidentalità.....	38
3.11 La costruzione degli scenari di riassetto del traffico con sistemi di info-mobilità .....	38
PREMESSA .....	38
3.12 I PANNELLI A MESSAGGIO VARIABILE .....	38
3.13 SCENARI DI GESTIONE DEL TRAFFICO .....	40
3.14 I RILEVATORI DI FLUSSO.....	42
3.15 L’applicazione del modello predittivo con le reti neurali ai dati di simulazione del traffico con il software sumo.....	44
PREMESSA .....	44

3.16	METODOLOGIA .....	46
3.17	Considerazioni e confronti sui valori stimati dal modello reti neurali in funzione degli scenari generati da sumo .....	52
4.	Prodotto T2.3.1: Report analisi nuovi sistemi di propulsione. ....	54
5.	Prodotto T2.4.1: Questionario di indagine .....	56
6.	Prodotto T2.4.2: Report sulla stima del costo sociale .....	56

## **1. Prodotto T2.1.1 e T2.1.2: Report tecnico sullo sviluppo del modello di simulazione e Funzionalità “Porto” all’interno di MithraSIG.**

I porti del Mediterraneo sono circondati da aree urbane densamente popolate dove il rumore generato dalle sorgenti sonore della loro attività ha un impatto molto significativo. L'obiettivo a lungo termine del progetto REPORT è ridurre le emissioni acustiche dai porti nell'area di cooperazione transfrontaliera con l'obiettivo di rendere più sostenibili gli impianti portuali nell'Area Marittima. Questo viene fatto sviluppando un approccio dedicato alla gestione del rumore.

L'attività T2.1 del progetto Report, svolta congiuntamente da UNIGE e CSTB, mira specificatamente a definire (task T2.1.1) e implementare (task T2.1.2) un modello di simulazione acustica specifico delle aree portuali, evidenziando la modellazione degli oggetti e particolari sorgenti di rumore che si possono trovare nei porti.

L'obiettivo del sotto-compito T2.1.1 era identificare gli adattamenti necessari per tenere adeguatamente conto delle specificità delle aree portuali nel quadro di un'analisi del rumore su scala urbana, sia nel quadro della creazione di una mappa di esposizione di popolazioni vicine alle aree portuali, uno studio di impatto durante una modifica o un nuovo progetto, o anche una valutazione dell'effetto di una limitazione del rumore. Queste modifiche sono destinate ad essere implementate all'interno di uno strumento esistente, il software MithraSIG v5, sviluppato in collaborazione da CSTB e dalla società Geomod, dedicato agli studi sull'impatto acustico esterno e alle mappe acustiche strategiche.

Il lavoro congiunto di CSTB e UNIGE ha permesso da un lato di evidenziare le funzionalità esistenti nel software MithraSIG applicabili al caso del rumore portuale, come ad esempio il database delle sorgenti industriali derivante dal progetto europeo IMAGINE e " su dall'altra identificare i principali elementi di cui l'utente avrebbe bisogno per modellare più precisamente le diverse attività portuali.

Da questa analisi, si è concluso che lo sforzo dovrebbe concentrarsi principalmente sulla modellazione geometrica e acustica delle navi. Date le loro dimensioni, le barche non possono essere assimilate a una sorgente puntiforme fittizia, come nel caso ad esempio dei veicoli stradali o degli aeroplani e che è necessaria una modellazione geometrica più dettagliata per tener conto degli effetti. Riflessione e diffrazione sulla propagazione del rumore.

Questa geometria viene quindi utilizzata per posizionare sorgenti sonore equivalenti alle varie apparecchiature che generano rumore, come motori, aperture di ventilazione, camini, unità ausiliarie e altre apparecchiature tecniche.

Ogni sorgente elementare deve essere caratterizzata sperimentalmente da misurazioni in situ. Considerando la grande diversità di navi che si incontrano nei porti, sembra difficile proporre valori generici rappresentativi per alcune categorie di navi, come è possibile per il traffico stradale. Il metodo di caratterizzazione proposto è quello sviluppato da CSTB nell'ambito del progetto Décibel.

È stato sottolineato che il livello sonoro prodotto dalle diverse sorgenti può variare nel tempo a seconda delle diverse modalità operative, come ingresso in porto, attracco, scarico, carico, ecc. Deve essere possibile modellare questa modulazione nel tempo, da un lato per motivi di validazione e confronto con le misure, dall'altro per ponderare il contributo di ciascuna modalità di funzionamento al livello sonoro equivalente, mediato su periodi più lunghi.

Il gruppo di lavoro ha deciso che, vista la durata di ciascuna fase, fosse opportuno concentrare inizialmente gli sforzi sulla fase di carico e scarico, quindi quando la nave è attraccata.

D'altra parte, è stato sottolineato che le condizioni meteorologiche al mare possono essere significativamente diverse da quelle che si incontrano sulla terraferma. In particolare, il regime del vento varia notevolmente tra giorno (vento terrestre) e notturno (vento marino) e può rappresentare variazioni significative a seconda della stagione (Libeccio o Scirocco). Questi fenomeni influenzano in modo significativo la propagazione del rumore a medie e lunghe distanze. Un metodo di analisi fine dei fenomeni meteorologici è stato proposto e testato nell'ambito del progetto Decibel ed è ora possibile utilizzarlo nel software MithraSIG.

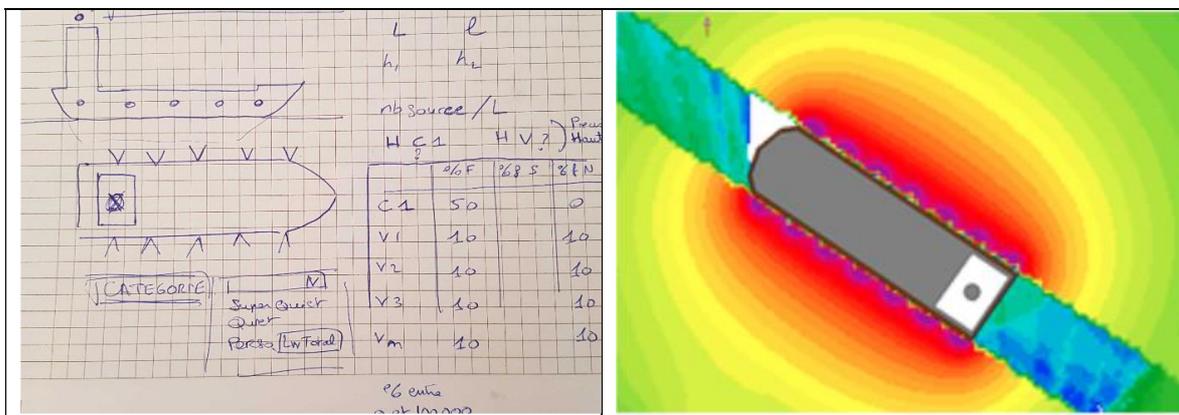


Figura 0 - Dalle prime idee proposte dagli esperti (a sinistra), fino alla loro implementazione software (a destra).

I principi della modellazione navale sono stati testati da CSTB nell'ambito del progetto Décibel. La modellazione manuale delle navi è risultata pertinente in termini di risultati acustici e ottenibile con gli strumenti disponibili. Tuttavia, la modellazione manuale si è dimostrata scomoda e richiede tempo. L'obiettivo fissato per l'attività T2.1.2 del progetto Report era automatizzare tale modellazione e semplificare l'attività al punto da renderla accessibile a tutti gli utenti. A nostra conoscenza, tale funzionalità non è disponibile in nessun altro software di modellazione acustica e / o in strumenti di produzione di schede di esposizione conformi ai requisiti della Direttiva Europea.

L'integrazione di questa nuova funzionalità in MihraSIG è stata effettuata dalla società GEOMOD come subappaltatore di CSTB. Una prima versione del nuovo software è stata consegnata ai partner del progetto nel maggio 2020. La versione finale è stata consegnata alla fine del 2020. Si prevede tuttavia che il software possa continuare ad evolversi, in particolare tenendo conto delle osservazioni risultanti dal compito T3 .1 che mira a validare gli approcci metodologici prodotti e la loro implementazione sotto forma di software.

Il report T2.1.2 fornisce tutti i dettagli necessari per l'utilizzo e il funzionamento di questa nuova funzionalità, in particolare:

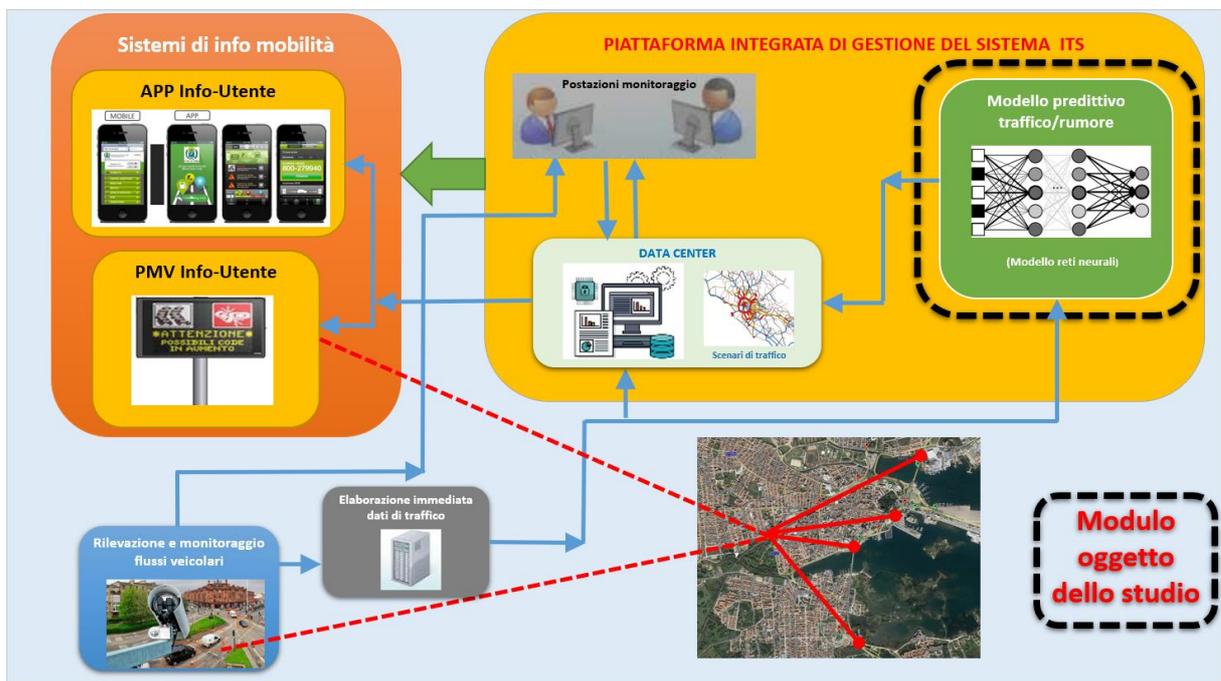
- Una breve presentazione delle funzionalità del software MithraSIG, inclusi i principi di modellazione e calcoli acustici.
- Gli aspetti metodologici della modellazione acustica delle principali sorgenti di rumore legate alle attività portuali.
- Aggiornamento del manuale d'uso del software MithraSIG, che descrive in dettaglio il funzionamento del nuovo modulo port.

## 2. Prodotto T2.2.1: Report analisi regime di moto di composizione del traffico e di manto stradale.

### PREMESSA

Nel presente studio viene affrontato, come introdotto nel report T2.2.1 lo sviluppo di un modello predittivo traffico-rumore a supporto di un sistema ITS (cfr.

Figura Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..1)** di Infomobilità basato su PMV, APP, web information ed altri sistemi che veicolano le informazioni all'utente della strada in relazione ai flussi veicolari misurati sulla rete stradale in tempo reale. L'obiettivo del sistema ITS è quello di reindirizzare il traffico, razionalizzandone gli itinerari in particolare per quelle correnti veicolari che hanno origine e destinazione dal e verso porto, ai fini di ridurre l'impatto complessivamente generato sul fronte delle città portuali.



**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..1 - SCHEMATIZZAZIONE DEL SISTEMA ITS**

Nella prima parte dello studio (Prodotto T2.2.1), verranno illustrati i risultati dell'analisi sperimentale dei flussi di traffico e quelli di emissione acustica effettuati in simultanea lungo il waterfront della città Portuale Pilota di Olbia. Tali dati costituiscono la base informativa fondamentale per l'implementazione del modello predittivo traffico - rumore che verrà sviluppato nel prodotto T2.2.2.

Il modello che verrà definito in T2.2.2 ha l'obiettivo di valutare i livelli di emissione sonora istantanea generati dal traffico in funzione dei quali, il sistema ITS attraverso messaggi di info-mobilità all'utente, trasmessi attraverso Panelli a Messaggio Variabile (PMV) o applicazioni per device mobili (APP) suggerisce comportamenti di guida e di viaggio (es. riduzione della velocità), fino ad obbligare gli utenti stessi ad intraprendere itinerari o percorsi alternativi. Tali messaggi sono finalizzati a decongestionare le arterie principali verso i nodi portuali, e quindi ridurre i livelli di emissione sonora. L'aspetto rilevante è che tale monitoraggio fornirà una risposta in tempo reale in funzione del monitoraggio continuo dei flussi di traffico (spire induttive, sistemi laser recorder, oppure videocamere). Il traffico rilevato costituisce il dato di input del modello predittivo traffico-rumore. Lo sviluppo del modello predittivo è stato effettuato per il contesto urbano del Waterfront portuale di Olbia, con l'auspicio, nelle successive fasi di sviluppo del Modello di implementarlo anche per le realtà portuali di Piombino Vado Ligure e Bastia.

## **2.1 ANALISI ACUSTICA AMBIENTALE**

L'analisi acustica ambientale dell'area portuale della città di Olbia è finalizzata a definire un quadro conoscitivo sufficientemente esaustivo di tutti gli elementi che concorrono alla determinazione degli scenari di clima acustico e di traffico. Tale **analisi propedeutica preliminare** è volta anche alla individuazione delle eventuali criticità per la successiva esecuzione del piano dei rilievi e per la costruzione del modello acustico previsionale.

Si è provveduto alla raccolta dei dati informativi pertinenti alla descrizione del contesto socioeconomico e demografico, del sistema dei trasporti, del sistema ambientale, del quadro normativo di riferimento e della pianificazione territoriale.

## **2.2 ANALISI ACUSTICA PRELIMINARE**

### **2.2.1 Raccolta dei dati preliminari**

In questa fase propedeutica è stata acquisita innanzitutto la cartografia di base relativa all'area di interesse. I dati cartografici sono stati acquisiti tramite il SITR (Sistema Informativo Territoriale Regionale) della Regione Sardegna il quale fa riferimento a diversi standard internazionali che rispettano i principi di condivisione dei dati geografici emanati dalla Direttiva INSPIRE ai fini della realizzazione di un'infrastruttura dati territoriali comunitaria. I dati cartografici sono accessibili tramite il portale web Sardegna Geoportale.

Dal SITR è stato possibile accedere al DBG (Data Base Geotopografico) e nello specifico al DBMP (Data Base Multiprecisione), dal quale è stato possibile acquisire nel formato SHP (shape file) le fonti informative georeferenziate utili ai fini della modellazione geometrica per la caratterizzazione acustica dell'area di interesse.

Per la costituzione del database geografico sono stati anche utilizzati, ad integrazione,

dati acquisiti da altre fonti. Per la verifica dei tracciati stradali, ad esempio, è stato consultato il portale open source Open Street Map che consente l'esportazione del sistema viario nel formato OSM.

Oltre all'analisi documentale è stato condotto il rilievo diretto delle caratteristiche dell'ambiente urbano del fronte portuale, delle attività che vi si svolgono, delle caratteristiche specifiche delle sezioni stradali (pavimentazione, larghezza delle corsie, senso di marcia, etc...).

Il quadro informativo del contesto socioeconomico e demografico è stato implementato con la raccolta dei dati ISTAT relativi alla popolazione residente al 1 gennaio 2019 nonché dei dati del censimento generale della popolazione dell'anno 2011 dai quali si possono ricostruire gli andamenti storici dei dati demografici.

Per quanto riguarda l'acquisizione dei dati meteo sono disponibili i dati della centralina di rilevamento meteo dell'aeronautica militare installata in prossimità dell'aeroporto Olbia Costa - Smeralda, nonché i dati delle serie storiche di velocità del vento e di umidità relativa rilevati da diverse centraline meteo installate nel territorio. L'amministrazione comunale dispone inoltre di una propria centralina di acquisizione installata sulla copertura del museo archeologico, proprio in prossimità del porto, che fornisce i dati di umidità relativa di velocità e direzione prevalente del vento, temperatura, pressione.

## 2.2.2 Pianificazione urbanistica e di settore

Allo scopo di verificare le destinazioni di zona e la presenza di aree a destinazione speciale, anche in funzione della verifica della presenza dei ricettori sensibili, sono stati consultati (ed è stata acquisita la relativa cartografia) il **P.U.C. (Piano Urbanistico Comunale)** vigente (Piano di fabbricazione) ed il Piano Paesaggistico Regionale della Sardegna.

Il Comune di Olbia ha elaborato e approvato con Delibera di Consiglio Comunale n. 24 del 08/03/2016 il **Piano di Zonizzazione Acustica** del territorio comunale ai sensi del D.P.C.M. 14/11/1997. Dalla consultazione degli elaborati si evince che l'area portuale destinata al traffico passeggeri ed il fronte mare sono in CLASSE IV - aree di intensa attività umana, con valori limiti assoluti di immissione pari a 65 dB(A) nel periodo diurno e 55 dB(A) nel periodo notturno.

Nell'anno 2014 il Comune di Olbia ha adottato il **P.U.M. (Piano Urbano della Mobilità)** che rappresenta un importante strumento conoscitivo della realtà urbana. Nel Piano viene condotta un'analisi del sistema dei trasporti attuale e delle sue criticità, si individuano gli indicatori di obiettivo ed i valori attuali e si pianificano le strategie di intervento.

### 2.2.3 Valutazione preliminare dell'area di studio, dei punti di misura e delle sezioni stradali

Per meglio comprendere le dinamiche del sistema dei trasporti in funzione della definizione del clima acustico si è cercato di inquadrare l'assetto dell'area urbana.

Alla scala territoriale l'impianto viario della città è costituito da:

- S.S. 125 Orientale Sarda, asse di attraversamento Sud-Nord dal lato mare
- Strada di circonvallazione che dallo svincolo sulla S.S.131 d.c.n. costeggia il centro urbano ad Ovest e si ricongiunge a Nord con la S.S. 125.
- S.S. 597/SS729 Sassari-Olbia che conduce in città da Sud e si riconnette al sistema di svincoli dello scalo aeroportuale.

I poli urbani sono essenzialmente rappresentati dallo scalo portuale marittimo, l'area industriale a Nord della città e lo scalo aeroportuale Olbia - Costa Smeralda a Sud.

Dopo una prima indagine alla dimensione urbana l'area di interesse del presente studio è stata ricondotta ad una scala compatibile con gli obiettivi del progetto: l'analisi si è quindi concentrata sull'area interessata dallo scalo commerciale e passeggeri in corrispondenza della banchina Isola Bianca, considerando i tratti stradali potenzialmente interessati dal traffico veicolare riconducibile all'attività portuale (traffico indotto).

Per la successiva campagna di misura del clima acustico, considerato il numero di catene di misura a disposizione, sono state dapprima ipotizzate tre posizioni di rilievo del tipo "sorgente orientata", strategicamente posizionate in funzione delle sezioni di rilievo dei flussi di traffico, volte a caratterizzare direttamente l'emissione sonora attribuibile al traffico veicolare. I punti di rilievo scelti sono "di frontiera" in quanto si è ipotizzato che siano i punti maggiormente esposti al rumore da traffico veicolare secondo un rapporto di causa - effetto. L'ipotesi è stata confermata dalle rilevazioni fonometriche preliminari.

In seguito alla verifica ed alle valutazioni sulle priorità nell'impiego delle risorse sono state individuate 10 sezioni stradali per il monitoraggio del traffico e confermati i 3 punti di acquisizione fonometrica per l'intera campagna sperimentale.

Id	Posizione	Tipologia di rilievo	Coordinate
Pos. A	Rotonda Sacro Cuore	Centralina fissa su palo	<b>4530549.91 N 542697.09</b>
Pos. B	Via Principe Umberto fronte	Centralina fissa su palo	<b>4530339.13 N 542530.94</b>
Pos.C	Via Genova ingresso sottopasso	Centralina fissa su palo	<b>4530164.33 N 542339.46</b>

**TABELLA 1 LOCALIZZAZIONE DELLE SEZIONI- INTERSEZIONI DI RILIEVO**

Una ulteriore verifica preliminare ha riguardato la sensibilità dell'intera catena di misura alla correlazione tra le fluttuazioni temporali delle emissioni imputabili al traffico e le simultanee fluttuazioni del clima acustico. Nelle posizioni di misura il livello di rumore ambientale di fondo presenta valori accettabili e sufficientemente bassi per non

mascherare il segnale emesso dalle sorgenti veicolari del traffico indotto.

Le posizioni di rilievo fonometrico della campagna di monitoraggio devono essere funzionali alla determinazione del clima acustico dello stato di fatto sia nel periodo di morbida sia nel periodo di punta, inoltre devono essere anche funzionali alla implementazione di un modello previsionale del clima acustico al variare dell'assetto dei flussi veicolari come riportato nei paragrafi successivi.



**FIGURA ERRORE.** NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO...2 - **POSIZIONI DI RILIEVO FONOMETRICO SU ORTOFOTO**

### **2.3 RILIEVI ACUSTICI E DEL TRAFFICO VEICOLARE**

In questa sezione vengono descritte le attività di rilievo, in parallelo, del rumore e del traffico veicolare nelle condizioni "ex ante" nel periodo di "morbida" e nel periodo di "punta" pianificate sulla base di quanto emerso nell'analisi conoscitiva preliminare.

#### **2.3.1 Data Base dei rilievi acustici e dei flussi di traffico (ex-ante) nel periodo di morbida e nel periodo di punta**

Il set delle informazioni acquisite nelle due distinte campagne di misura è stato strutturato in un database col fine di sviluppare l'analisi approfondita del clima acustico che si determina nel fronte portuale e la mappatura acustica dell'area secondo modelli fisici di propagazione.

La prima campagna di rilievo "ex ante" si è svolta nel mese di Marzo dell'anno 2019,

periodo dell'anno individuato come “di morbida” nel quale si registra solitamente un'attività ordinaria del porto passeggeri.

La seconda campagna “ex ante” si è svolta invece nel mese di Agosto dello stesso anno che, nel vivo della stagione turistica, è tipicamente un periodo “di punta” con intensa attività del porto passeggeri. I rilievi sono stati eseguiti negli stessi punti di acquisizione e per le stesse sezioni stradali del periodo di morbida.

### **2.3.2 Modalità di esecuzione dei rilievi fonometrici**

I rilievi fonometrici sono stati eseguiti in conformità al D.M. 16/03/1998 “Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico” per i criteri generali e per la posizione dei microfoni per il rilevamento del rumore da traffico per l'intervallo temporale della misura. Per le acquisizioni è stata impiegata strumentazione conforme alla classe 1 corredata dai relativi certificati di taratura in corso di validità, come prescritto dal citato decreto ministeriale. In particolare, sono stati utilizzati fonometri integratori Sound Level Meter 01dB Cube e microfoni prepolarizzati 1/2' type G.R.A.S. 40CD.

Tutti i rilievi fonometrici sono stati effettuati con postazioni fisse installate all'altezza di 4 metri dalla quota stradale secondo una logica sorgente-orientata (le cui caratteristiche sono descritte nelle linee guida dell'ISPRA al paragrafo 5.1) e in condizioni di sorveglianza per annotare eventuali singolarità o anomalie generate dall'attività occasionale di sorgenti acustiche non veicolari in prossimità dei punti di misura.

Nel corso dei rilievi sono state acquisiti e memorizzati su supporto digitale i valori medi delle seguenti grandezze acustiche, con base temporale pari a 100 [ms]: andamento temporale del livello di pressione sonora secondo le diverse curve di ponderazione in frequenza (A,B,C e Linear), con diverse ponderazioni temporali (lineare ed esponenziale con costanti di tempo Slow, Fast e Impulse).

Le catene di misura del livello della pressione sonora impiegate hanno rilevato e memorizzato i dati fisici sia nel dominio del tempo sia nel dominio della frequenza. I dati in frequenza sono stati memorizzati in bande normalizzate di 1/3 di ottava.

Per poter validare le misure sono stati registrati i dati meteo relativi agli intervalli temporali delle misure del rumore ambientale come i valori delle precipitazioni, l'umidità relativa, la direzione e la velocità del vento, la temperatura, registrati da una centralina di acquisizione installata in prossimità delle strade monitorate<sup>1</sup>.

### **2.3.3 Esecuzione dei rilievi fonometrici ex-ante (periodo di morbida)**

La campagna di misura programmata è stata eseguita nelle date 25, 26, 27 e 28 Marzo 2019. I rilievi hanno avuto inizio dalla sera del giorno 25.03.2019 alle ore 20.00 per tutte

---

<sup>1</sup>Centrale di rilevamento installata nel Museo Archeologico Comunale

le postazioni sino alle ore 18.00 del giorno 28.03.2019 per 3 TR notturni e 3 TR diurni rilevati.



Posizione microfono A



Posizione microfono B



Posizione microfono C

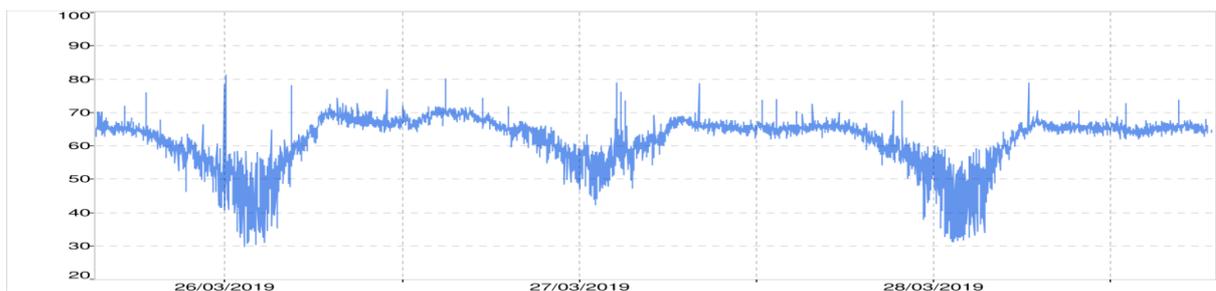


Posizione microfono D

**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..3 - POSTAZIONI DI RILIEVO FONOMETRICO CAMPAGNA EX ANTE PERIODO DI MORBIDA (MARZO 2019)**

Oltre alle posizioni di rilievo “sorgente orientata”, per una maggiore completezza dell’indagine sul clima acustico, è stata aggiunta anche una postazione fonometrica in ambiente interno (Posizione microfono D). Il set up di acquisizione è stato posto in corrispondenza del ricevitore “Municipio” direttamente prospiciente Via Principe Umberto, sezione stradale oggetto di rilievo fonometrico e dei flussi di traffico.

Di seguito si riportano sinteticamente un grafico dell’andamento del Leq (A) per una postazione di misura.



**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..4- LIVELLO EQUIVALENTE LEQ(A) POSTAZIONE DI RILIEVO B (VIA PRINCIPE UMBERTO)**

### 2.3.4 Esecuzione dei rilievi fonometrici ex-ente (periodo di Punta)

La campagna di misura nel periodo di punta, considerato il carattere marcatamente stagionale dei flussi legati alla stagione turistica, è stata programmata nelle giornate in cui statisticamente negli ultimi anni, secondo quanto indicato dall’Autorità Portuale di Olbia, si sono riscontrati i maggiori volumi di traffico passeggeri nel porto commerciale. Per l’esecuzione dei rilievi sono stati quindi individuati i giorni **23, 24, 25 e 26 del mese di**

**Agosto 2019.** I rilievi hanno avuto inizio dal pomeriggio del giorno 23.08.2019 alle ore 16.00 per tutte le postazioni e si sono conclusi alle ore 18.00 del giorno 26.08.2019 per complessivi 3 TR notturni e 3 TR diurni rilevati.

I rilievi sono stati effettuati nelle stesse postazioni fisse impegnate nel periodo di morbida, con le medesime catene di misura, al fine di valutare specificatamente come la variazione dei volumi di traffico connessi all'area portuale influisce sul rumore ambientale in prossimità del fronte urbano.



posizione microfono A



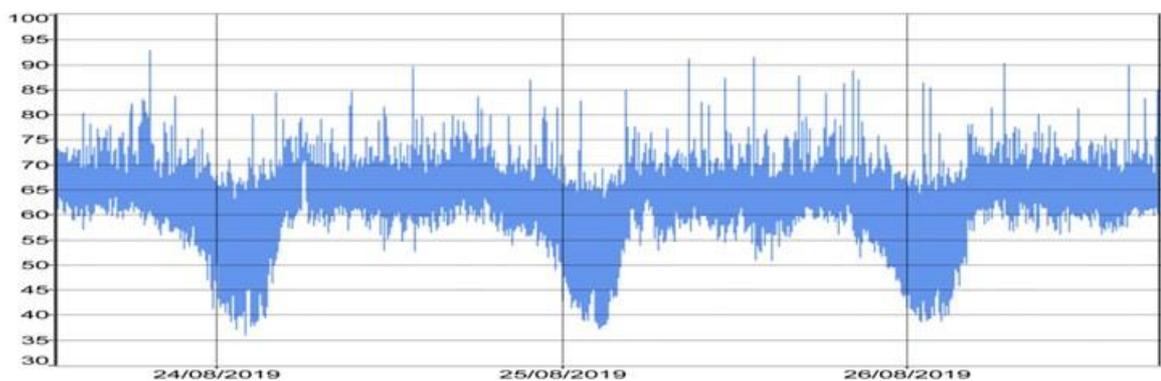
posizione microfono B



posizione microfono C

**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..5 - POSTAZIONI DI RILIEVO FONOMETRICO CAMPAGNA EX ANTE PERIODO DI PUNTA (AGOSTO 2019)**

Di seguito si riportano sinteticamente un grafici dell'andamento del Leq(A) per una postazioni di misura.



**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..6: LIVELLO EQUIVALENTE Leq(A) POSTAZIONE DI RILIEVO B 24.08.2019 -VIA PRINCIPE UMBERTO**

### 2.3.5 Modalità di rilievo dei flussi di traffico

Per avere un quadro più completo possibile dei flussi di traffico sono state individuate le diverse sezioni in cui effettuare le rilevazioni sulla base dei seguenti criteri:

- Sez.1A: rilevare flusso in entrata nella Rotonda Sacro Cuore;
- Sez.1B: rilevare flussi in entrata nel sottopasso stradale in direzione Sud;
- Sez.1C: rilevare flussi in uscita dal sottopasso stradale in direzione Nord;
- Sez.1D: rilevare flusso in entrata e in uscita dall'area portuale;
- Sez.1E: rilevare flusso in uscita dalla Rotonda Sacro Cuore;
- Sez.1F: rilevare flusso in entrata e in uscita dall'area portuale dalla Rotonda Sacro Cuore;
- Sez.2A: rilevare flussi di traffico in Via Principe Umberto;
- Sez.3A: rilevare flussi di traffico in Via Genova;
- Sez.3B: rilevare flussi di traffico S.S.125 sopraelevata;
- Sez.3C: rilevare flussi di traffico in entrata e in uscita dal sottopasso stradale.
- 



**FIGURA ERRORE.** NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..7 - SEZIONI DI RILIEVO DEI FLUSSI DI TRAFFICO

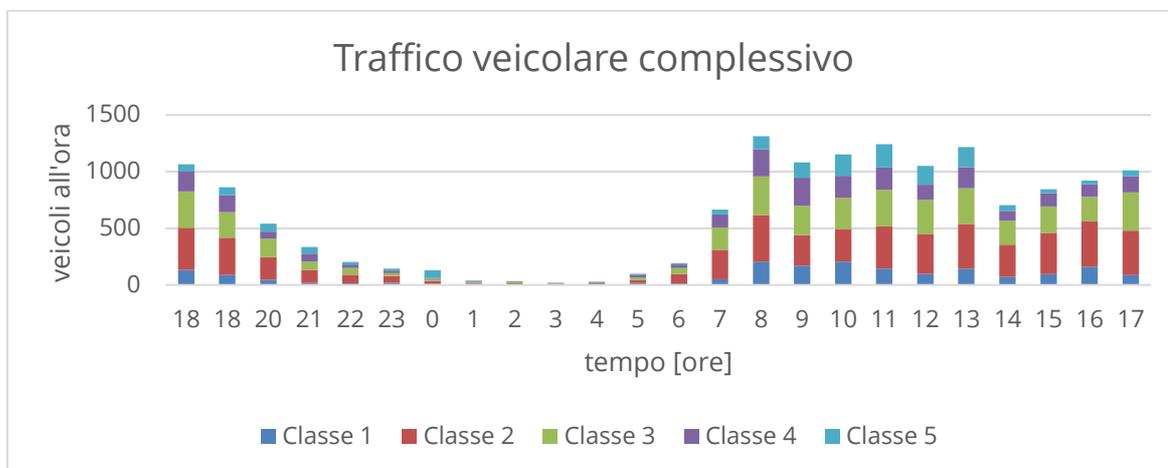
Le attività di rilevamento sono state condotte con modalità video mediante acquisizione in continuo delle immagini per un periodo di 72 h. Le apparecchiature consentono il monitoraggio dei due sensi di marcia contemporaneamente. Il rilievo dei flussi di traffico, sincronizzato con i rilievi acustici, ha restituito il numero dei veicoli per senso di marcia suddivisi in 5 classi sulla base della lunghezza.

### 2.3.6 Rilevazioni dei flussi di traffico Ex Ante nel periodo di morbida

Il report dei rilievi contiene, per ogni singola sezione, il conteggio dei veicoli suddivisi per direzione e classe dei veicoli riferito sia all'intervallo orario sia, nel dettaglio, al minuto.

Di seguito si riporta, a titolo di esempio, il grafico a barre della sezione di rilievo 2A con

le distinte contributi delle diverse classi.



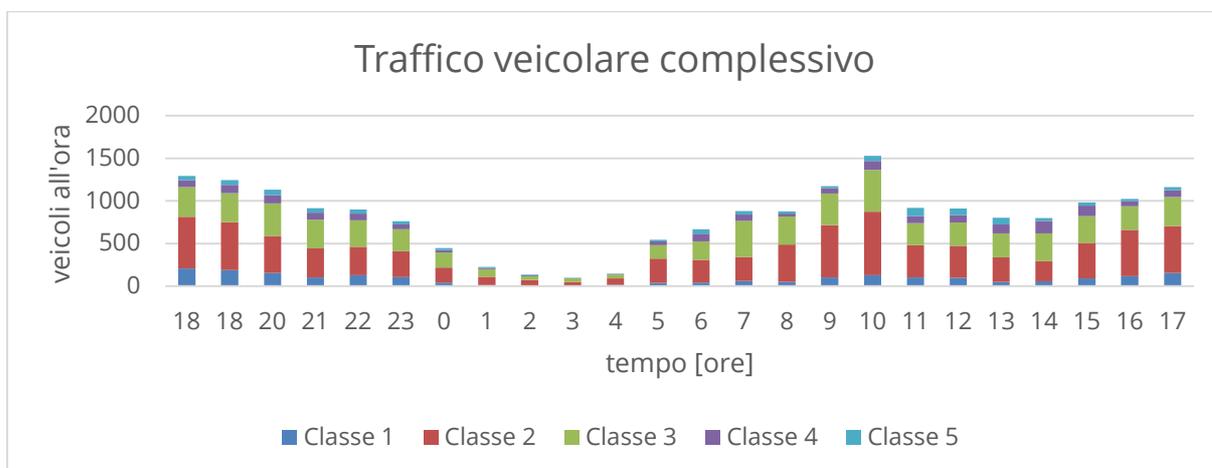
**FIGURA ERRORE.** NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..**8 - GRAFICO COMPLESSIVO CUMULATO PER LE DIVERSE TIPOLOGIE DI VEICOLI, DAL 27 AL 28 MARZO.**

### 2.3.7 Rilevazioni dei flussi di traffico Ex-Ante nel periodo di punta

I rilievi sono stati eseguiti nelle stesse sezioni stradali analizzate nel periodo di morbida nel marzo 2019 al fine di avere un quadro comparativo dei due periodi e della diversa distribuzione dei flussi nelle fasce orarie.

Anche per questa fase il report dei rilievi contiene, per ogni singola sezione, il conteggio dei veicoli suddivisi per direzione e classe di lunghezza. Rispetto alle rilevazioni del periodo di morbida (per il quale sono stati registrati i passaggi veicolari ogni minuto), nel periodo di punta sono stati registrati i passaggi dei veicoli e la loro velocità istantanea ogni secondo.

A titolo di esempio si riporta anche per tale periodo il grafico a barre della sezione di rilievo 2A con i contributi cumulati delle diverse classi.



**FIGURA ERRORE.** NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..**9 - GRAFICO COMPLESSIVO CUMULATO PER LE DIVERSE TIPOLOGIE DI VEICOLI, DAL 24 AL 25 AGOSTO.**



### **3. Prodotto T2.2.2: Report analisi regolazione traffico.**

#### **3.1 ELABORAZIONE DEL MODELLO SPERIMENTALE PREVISIONALE DI EMISSIONE ACUSTICA**

##### **3.1.1 Sviluppo di un modello predittivo traffico-rumore.**

Uno dei risultati scientifici salienti del progetto Report è lo sviluppo di un modello in grado di predire il valore corretto del livello di pressione sonora che verrebbe generato in un dato punto in corrispondenza di un assegnato scenario di composizione e di assetto del traffico veicolare sulle sezioni stradali che sono state oggetto di indagine sperimentale.

Il modello si basa sulle acquisizioni dell'evento rumoroso, senza però dover necessariamente disporre di tutte le possibili realizzazioni con cui tale fenomeno si può manifestare. Per raggiungere l'obiettivo di fornire predizioni corrette sull'intero universo di interesse a partire dalla conoscenza parziale del fenomeno si è pensato di ricorrere ad un sistema di riconoscimento basato sull'apprendimento di una rete neurale (Lecun et al., 2015; Schmidhuber, 2015). Ad un tale sistema di riconoscimento ci si rivolge, per la sua capacità di generalizzare i risultati e quindi di associare la risposta corretta anche a segnali di input non (mai esplicitamente) contemplati in precedenza, oppure con informazioni mancanti o parzialmente compromesse (Erhan et al., 2014).

Nell'implementazione di un modello basato sulle reti neurali si possono tipicamente individuare le procedure di seguito descritte.

##### **3.1.2 Training procedure**

Il metodo delle reti neurali si basa su una fase preliminare, denominata procedura di addestramento "training procedure" secondo cui la rete è soggetta ad adattare i suoi parametri interni con l'obiettivo di apprendere un certo numero di casi che costituiscono il training set.

Il training set viene individuato tra alcune realizzazioni sperimentali degli eventi rumorosi che sono stati misurati lungo tutto il periodo di misura. Durante ciascun training step, la risposta corretta, (il valore fisico misurato di pressione sonora) viene utilizzata dall'algorithm interno della rete neurale per adattare iterativamente i suoi parametri con l'obiettivo di ridurre l'errore tra il target sperimentale e la risposta fornita dalla rete.

### 3.1.3 Testing procedure

Ultimato il training, deve essere condotta una seconda fase, ovvero la procedura di testing "testing procedure". Questa attività permette di verificare e quantificare la capacità di apprendimento raggiunta dalla rete durante la precedente fase di training.

La capacità di apprendimento viene misurata e valutata in termini di capacità della rete, addestrata in precedenza, di riconoscere correttamente il maggior numero delle configurazioni degli eventi rumorosi appartenenti al training set (utilizzate durante la fase di addestramento) ed inoltre in termini di capacità di estendere il riconoscimento corretto anche ai casi, denominati test set, che non sono stati contemplati precedentemente nel training set.

### 3.1.4 Normalizing procedure

L'intero set dei dati sperimentali del flusso veicolare viene preliminarmente sottoposto ad una normalizzazione, prima di essere fornito come input alla rete. La normalizzazione è una buona pratica per evitare che i valori massimi e minimi del test set, che superano i valori massimi e minimi del training set, possano provocare la saturazione della funzione di trasferimento della rete.

### 3.1.5 Implementazione con i dati acquisiti

Le acquisizioni dei rilevamenti di traffico e di rumore durante il periodo di misura 25-28 marzo e 23-26 agosto 2019 hanno prodotto delle serie temporali con risoluzione temporale ogni 60 secondi.

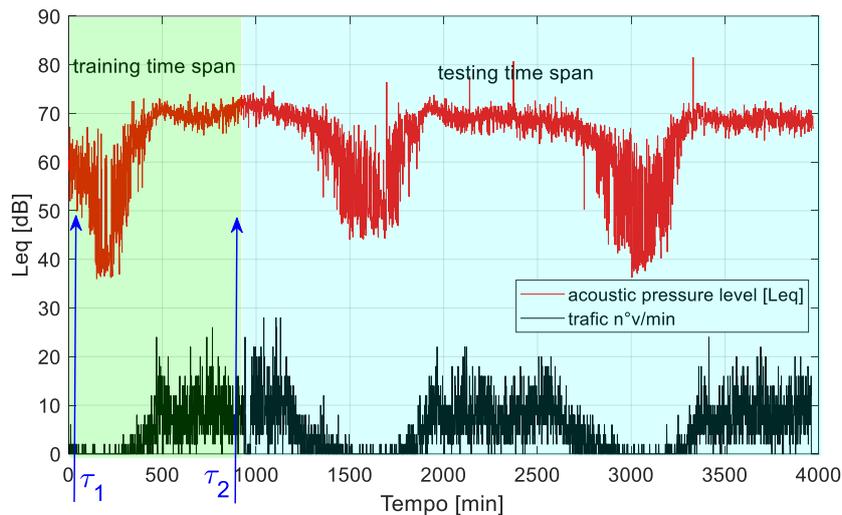
Nella fase iniziale dello sviluppo del modello è stata condotta un'indagine preliminare per:

- 1) identificare quale architettura e tipologia di rete neurale fosse la più adatta per il compito assegnato tra:
  - a) Pattern recognition problem
  - b) Time series predictions
- 2) per individuare quale dominio considerare per l'addestramento tra:
  - a) andamento temporale della pressione sonora
  - b) andamento temporale dello spettro della pressione sonora

### 3.1.6 Strategia di addestramento

La fase preliminare di addestramento è stata strutturata adottando due strategie che sono state perseguite in alternativa che verranno denominate "inter-spaced





**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..11 - ANDAMENTO DEL TRAFFICO VEICOLARE E DEL RUMORE RILEVATO. VENGONO EVIDENZIATI I PERIODI A CUI FANNO RIFERIMENTO I DATI CONSIDERATI PER IL TRAINING SET ED IL TEST SET CON LA SECONDA STRATEGIA.**

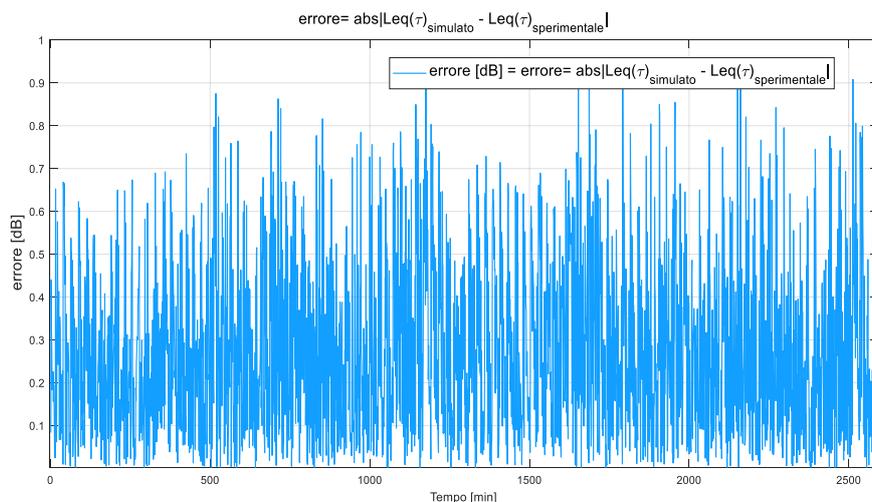
Durante la fase di studio, si è riscontrato che i risultati della fase di generalizzazione, ottenuti con la seconda strategia di addestramento, sono stati qualitativamente superiori rispetto a quelli derivati dalla prima strategia, pertanto verranno presentati solo i metodi e risultati relativi alla seconda strategia di addestramento.

### 3.1.7 Risultati della generalizzazione

È stato eseguito un confronto tra le seguenti grandezze:

- il valore simulato dal modello neurale in risposta alla generica realizzazione di traffico che si è verificata durante l'intervallo *iesimo*
- il valore sperimentale che è stato misurato durante il medesimo intervallo *i-esimo*.

L'evoluzione dell'errore tra le due quantità è rappresentata in **Errore. L'origine r iferimento non è stata trovata..** Come si può osservare l'errore si mantiene inferiore a 1 dB lungo tutta la time line di misura relativa alla fase di test.



**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..12 - ERRORE DURANTE LA FASE DI TEST TRA I VALORI MISURATI E I VALORI SIMULATI DAL MODELLO.**

### 3.1.8 Analisi della variabilità dei flussi di traffico

Preliminarmente è stata condotta un'indagine, ancora in fase di perfezionamento, di carattere statistico per dare una metrica dell'ampiezza della dinamica delle realizzazioni del flusso veicolare durante il periodo di test. Questa indagine cerca di verificare se la rete generalizza i risultati su un database di input la cui variabilità è ampia oppure no. Grande variabilità implica che la rete è stata in grado di apprendere su un data base «impegnativo» e significativo con una dinamica elevata.

### 3.2 RISULTATI DEL MODELLO NEURALE

Nella presente sezione verranno presentati i risultati che sono stati ottenuti in fase di simulazione dal modello neurale una volta che è stata completata la procedura di addestramento. Tale procedura è basata sulla strategia di *training*, individuata nella sezione precedente con la denominazione "*single time spar*", utilizzando i dati sperimentali dei periodi di riferimento relativi a ciascuna postazione di misura. I risultati che verranno presentati sono suddivisi in due periodi temporali distinti, uno relativo al periodo di morbida dei giorni di Marzo 2019 e un altro relativo al periodo di punta dei giorni di Agosto 2019.

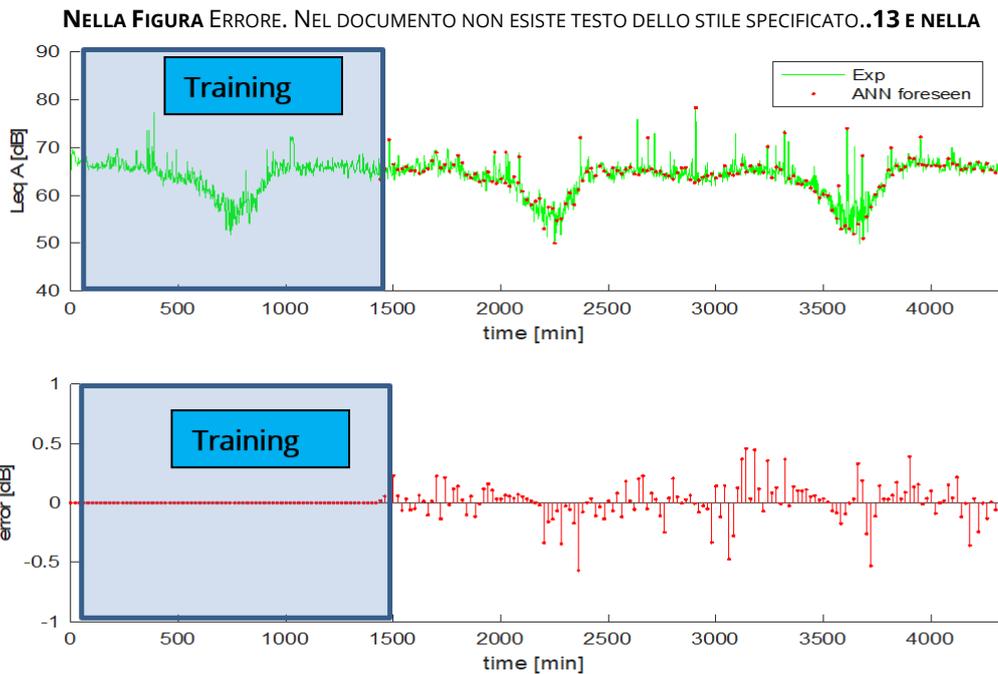


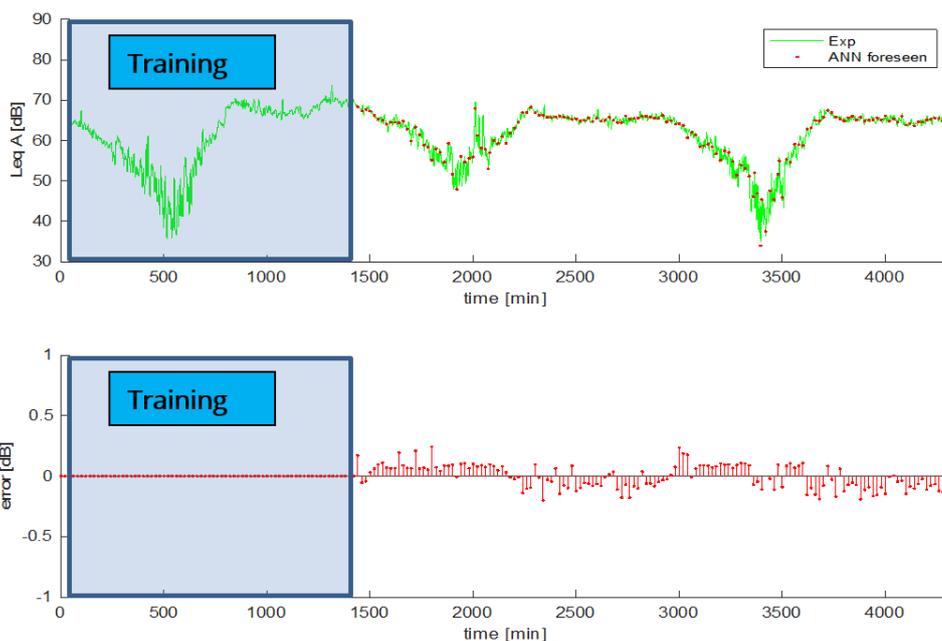
Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..14** che seguono sono rappresentati i confronti tra le evoluzioni temporali del livello di pressione sonora misurato sperimentalmente e quello predetto in fase di simulazione dal modello neurale. Contestualmente in ciascuno dei grafici compare anche l'errore in valore assoluto tra i due andamenti. Per favorire la leggibilità dei grafici è stata riportata una versione delle curve con una risoluzione di 1 valore ogni 20 campioni. Si precisa che i risultati ottenuti in termini di aderenza dei valori predetti ai valori sperimentalmente sono validi ed estendibili per tutti i valori della time line e non solo per quelli che vengono visualizzati nelle figure. Pertanto, l'ordine di grandezza dell'errore nei punti non visualizzati è al più dello stesso ordine dell'errore di quelli che compaiono graficamente nella time line. Tuttavia, al fine di poter dimostrare la capacità della rete neurale di essere anche in grado di esibire la dinamica della risposta in corrispondenza dei picchi di breve durata, sono stati riportati anche i valori del livello nei minuti in cui si sono verificati innalzamenti repentini del livello di pressione sonora.

Al fine di ottimizzare e migliorare i risultati del processo di addestramento è stata sviluppata una campagna di addestramento progressiva, attraverso cui è stato possibile determinare la *sensibilità* e robustezza del modello ai dati in ingresso forniti dalle diverse sezioni stradali della campagna di misura. Come risultato è emerso che i dati relativi ai flussi di traffico rilevati nelle sezioni qui sopra indicate, permettono di implementare il modello ANN che esibisce le migliori performances in termini di accuratezza e *matching* rispetto ai dati sperimentalmente. In altre parole, è

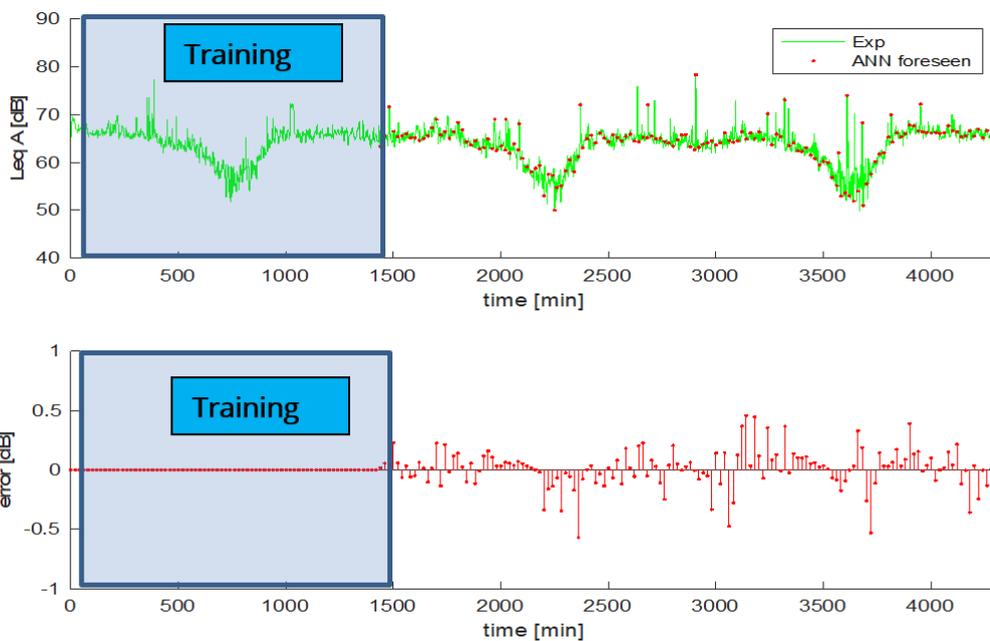
stato sviluppato un processo di addestramento per gradi. Inizialmente la rete viene addestrata con i dati di input del flusso veicolare proveniente dal completo potenziale di informazioni incorporato nelle sezioni stradali che sono state sottoposte a monitoraggio. I risultati dell'addestramento vengono confrontati con quelli che si ottengono dalla riduzione dei dati di input per il fatto che viene estromesso dal set di addestramento la sezione stradale più remota. Se i risultati ottenuti con il data set ridotto non peggiorano o migliorano allora l'estromissione è definitiva e il set di addestramento risultante viene sottoposto nuovamente a riduzione e confronto. Questa procedura ha permesso di individuare un data set canonico formato da un numero minimo di sezioni stradali che rappresentano quelle sorgenti specifiche che determinano le fluttuazioni del clima acustico, in prossimità di ciascuna postazione di misura fonometrica. Questa procedura è stata applicata sia per il periodo diurno che notturno proprio per allontanare la probabilità che una data sezione stradale venisse erroneamente estromessa poiché risultata scarsamente correlata o ridondante con il clima acustico di una data postazione semplicemente a causa delle contingenti condizioni di traffico a cui la particolare sezione era sottoposta durante un particolare segmento temporale.

### ***3.3 Risultati postazione fonometrica A - Postazione di misura rotatoria Sacro Cuore (marzo, agosto 2019)***

A titolo di esempio si riportano sinteticamente i risultati relativi alla posizione fonometrica A. Per rendere più efficace l'apprendimento della rete neurale che stima la risposta rilevabile si è considerato il seguente set ottimizzato delle sezioni di rilievo del traffico che fornisce il migliore contributo alle performances in fase di addestramento e generalizzazione, ovvero le sezioni 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F.



**FIGURA ERRORE.** NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..**13 - LeqA ACQUISITO SPERIMENTALMENTE (VERDE) E PREDETTO DALLA ANN (PALLINI ROSSI), IN ALTO. DIFFERENZA TRA VALORI CALCOLATI E VALORI SPERIMENTALI, IN BASSO. POSTAZIONE A PERIODO DI MORBIDA 25-28MARZO 2019.**



**FIGURA ERRORE.** NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..**14 - LeqA ACQUISITO SPERIMENTALMENTE (VERDE) E PREDETTO DALLA ANN (PALLINI ROSSI), IN ALTO. DIFFERENZA TRA VALORI CALCOLATI E VALORI SPERIMENTALI, IN BASSO. POSTAZIONE A PERIODO DI PUNTA 23-26 AGOSTO**

### 3.4 Considerazioni sui risultati ottenuti e conclusioni

Il modello di traffico esibisce un'ottima capacità previsionale del clima acustico generato dal traffico veicolare nelle tre postazioni fonometriche. L'addestramento

del modello neurale si è basato su un segmento temporale costituito dai primi 1400 minuti, mentre i restanti 2600 minuti sono stati esclusi dalla procedura di addestramento e sono stati quindi riservati per verificare le prestazioni della rete in fase di generalizzazione. Questa fase di generalizzazione permette di verificare se la rete è in grado di fornire valori corretti dei livelli di rumore solo esclusivamente quando riceve configurazioni di traffico “già viste” oppure è in grado di estendere la sua abilità anche a scenari di traffico nuovi.

Come si può osservare per tutte e tre le postazioni il modello esibisce un’ottima capacità di generalizzare durante tutti i periodi di riferimento diurno, serale e notturno. L’errore assoluto si mantiene sempre ben al di sotto del valore di 1 decibel per tutta la “time line” della campagna di misura. In particolare, per quanto riguarda la postazione di misura nella posizione A, di cui sono stati riportati i risultati a titolo esemplificativo, è possibile riassumere i seguenti risultati:

**Periodo di morbida** (Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..13**):

- **segmento temporale della fase di addestramento:** lo scostamento tra i dati sperimentali e i valori simulati è praticamente nullo.
- **segmento temporale della fase di test-generalizzazione:** lo scostamento tra i dati sperimentali e i valori simulati si mantiene ovunque al di sotto del mezzo decibel.

**Periodo di punta** (Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..14**):

- **segmento temporale della fase di addestramento:** lo scostamento tra i dati sperimentali e i valori simulati è praticamente nullo.
- **segmento temporale della fase di test-generalizzazione:** lo scostamento tra i dati sperimentali e i valori simulati si mantiene ovunque al di sotto del mezzo decibel, tranne in due occasioni è di poco superiore al mezzo decibel.

Sebbene i risultati forniti dal modello siano aderenti in misura soddisfacente per tutte le tre postazioni e per entrambi i periodi di riferimento, sia di morbida che di punta, vale la pena osservare un leggero degrado delle prestazioni del modello nella sua capacità di predire gli andamenti relativi al periodo di punta, in tutte le postazioni. Questo aspetto era prevedibile ed è ragionevolmente spiegabile con un notevole incremento dell’attività antropica durante il periodo di punta del mese di Agosto. Nella città in genere ma soprattutto nelle vie sul lungo mare proliferano le attività all’aperto con un intenso flusso di pedoni che si protrae sino alle ore

notturne. Pertanto, inevitabilmente, al rumore del traffico veicolare si sovrappongono gli effetti di tali sorgenti di rumore. Le precedenti considerazioni trovano riscontro nel fatto che il degrado delle prestazioni si verifica proprio nei “punti di sella” del periodo notturno, quando il turista passeggia, frequenta gli esercizi commerciali e fruisce dei servizi e delle attrazioni della città. Occorre comunque osservare che il degrado delle prestazioni è veramente marginale rispetto all’entità delle perturbazioni generate dalle attività antropiche non attribuibili al traffico. Questo aspetto conferma la capacità del modello di saper riconoscere, in una certa misura, il rumore ambientale di fondo a cui si sovrappone il rumore del traffico veicolare.

Infatti nelle diverse condizioni ambientali, di traffico e di rumore di fondo (sempre di natura antropica ma non attribuibile al traffico veicolare), per tutte le postazioni fonometriche e nelle due condizioni (di morbida e di punta) il modello è stato in grado di prevedere valori di  $L_{eq,A}$  aderenti ai valori sperimentalmente misurati, sia quando il segnale acquisito era quasi-stazionario che in condizioni di forte variabilità. La natura delle sorgenti acustiche in prossimità delle postazioni di misura è la più diversa: in una si hanno prevalentemente veicoli in movimento a velocità elevata e costante; nell’altra veicoli a bassa velocità ed in manovra, spesso in condizioni di traffico congestionato; ed infine nella terza a condizioni di traffico veicolare erratico si aggiungono le sorgenti dovute alle attività lavorative nella piazza adiacente al palazzo municipale, le attività di ristorazione, di svago e commerciali prossime alla postazione.

Per il fronte del porto della città di Olbia si è potuto implementare un modello traffico-rumore che mostra le performances che abbiamo esposto. Al momento sono in fase di implementazione gli analoghi modelli addestrati con i dati acquisiti nelle altre città partner del progetto. Sarà oggetto di valutazione un confronto tra le prestazioni dei diversi modelli implementati per le diverse città, in particolare volto a valutare quali elementi possano definire e caratterizzare una metodologia generale di implementazione a contesti diversi. Un ulteriore approfondimento della ricerca prevederà di implementare il modello previsionale anche nel dominio della frequenza, mediante l’addestramento al riconoscimento degli spettri. Questo ulteriore passaggio permette di determinare le componenti spettrali del rumore che maggiormente intervengono nel processo di modellizzazione causa effetto del fenomeno traffico – rumore. Ulteriore step della ricerca prevede di confrontare il modello ad apprendimento neurale con i modelli così detti fisici che ormai hanno raggiunto una maturità commerciale e che incorporano le leggi della propagazione acustica su uno spazio le cui condizioni al contorno sono fissate dalla geometria dell’orografia del territorio e dell’ambiente costruito e dalle proprietà acustiche dei

materiali coinvolti. Evidentemente, per il modello fisico di propagazione, tali informazioni sono indispensabili per una modellizzazione corretta del fenomeno traffico - clima acustico. Sebbene non indispensabile, anche il modello neurale potrebbe essere completato con tali informazioni con l'obiettivo di aumentarne la sua robustezza. La ricerca sviluppata fino a questo punto suggerisce moltissimi risvolti e sviluppi, che vale la pena perseguire, infatti i risultati di questa prima fase sono molto confortanti che rivelano una buona base su cui sviluppare ulteriori studi.

### **3.5 La costruzione del modello di traffico con il software sumo**

#### **Premessa**

Nella presente sezione viene definito il processo metodologico e le risultanze scaturite dalla realizzazione del modello di traffico sviluppato con il software SUMO nella rete stradale delle città di Olbia ed in particolare per la simulazione dello stato attuale del traffico sul waterfront portuale nei periodi di morbida e di punta. Il modello una volta calibrato consentirà, in relazione ad ipotetici scenari di traffico determinati nelle ore di punta di imbarco e sbarco delle navi passeggeri nel porto di Olbia, di valutare i flussi di traffico (nelle sue componenti caratteristiche) sulle singole sezioni della rete stradale. Tali flussi costituiranno i dati di input del modello predittivo traffico rumore sviluppato con le reti neurali. Lo studio che viene illustrato nella presente sezione ha riguardato:

1. l'analisi dei flussi di mobilità attuali, attraverso il rilievo alle sezioni e intersezioni stradali;
2. la costruzione del modello di simulazione del traffico sulla base dei dati di rilevazione sullo stato attuale nei periodi di punta e di morbida del 2019.

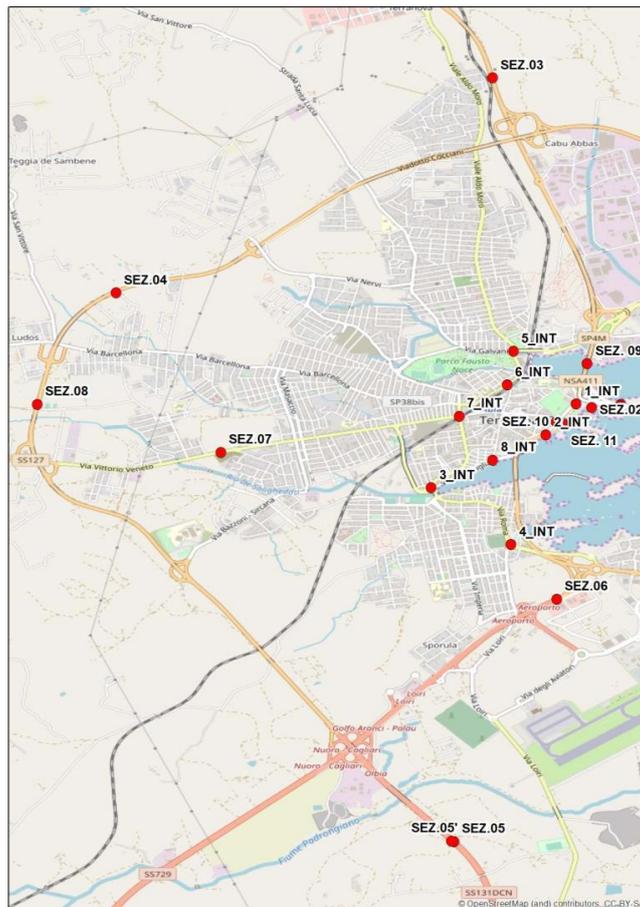
#### **3.5.1 I RILIEVI DI TRAFFICO VEICOLARE**

Per l'analisi dei flussi veicolari nell'area in esame, sono state installate 15 sezioni di rilievo e 8 intersezioni la cui posizione è mostrata in Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..15**

La Tabella **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..2** fornisce il dettaglio sulla localizzazione delle postazioni di rilievo.

<b>Identificativo</b>	<b>Posizione</b>
Sez. 1	Via Banchina Isola Bianca_direzione Olbia centro
Sez. 1'	Via Banchina Isola Bianca_direzione Porto
Sez. 2	Viale Isola Bianca





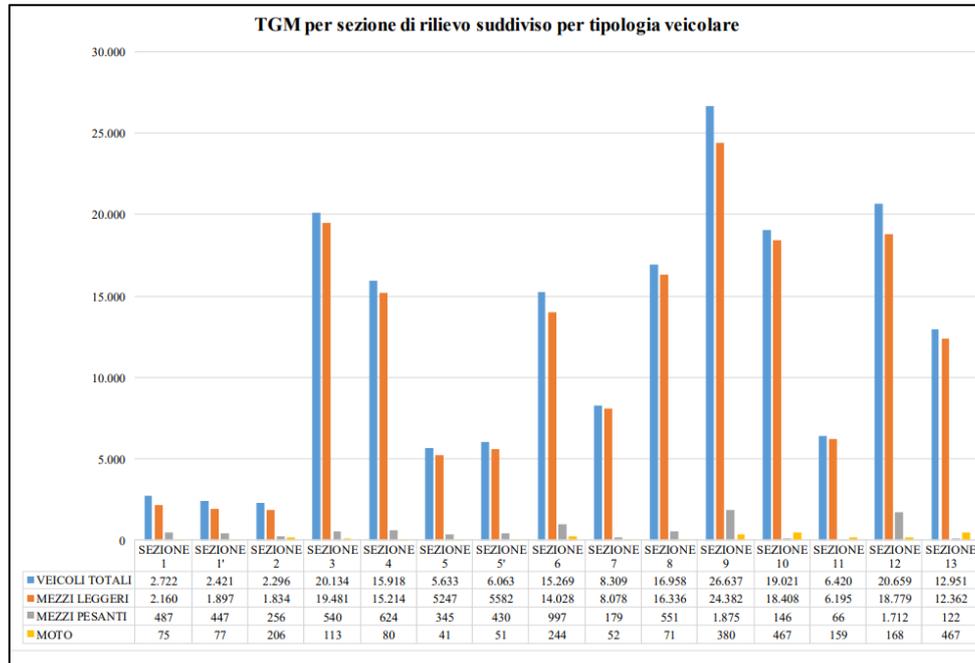
**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..15-  
LOCALIZZAZIONE DELLE SEZIONI –INTERSEZIONI DI RILIEVO**

Nelle sezioni sono stati effettuati i flussi di traffico in un intervallo di 24 ore mentre nelle intersezioni si è fatto riferimento alle manovre rilevate nelle ore di punta del mattino e della sera (7:30- 9:00, 17:30- 19:00). L'analisi è stata condotta suddividendo i veicoli in tre categorie:

- mezzi leggeri;
- mezzi pesanti;
- motocicli.

### 3.5.2 Periodo autunnale

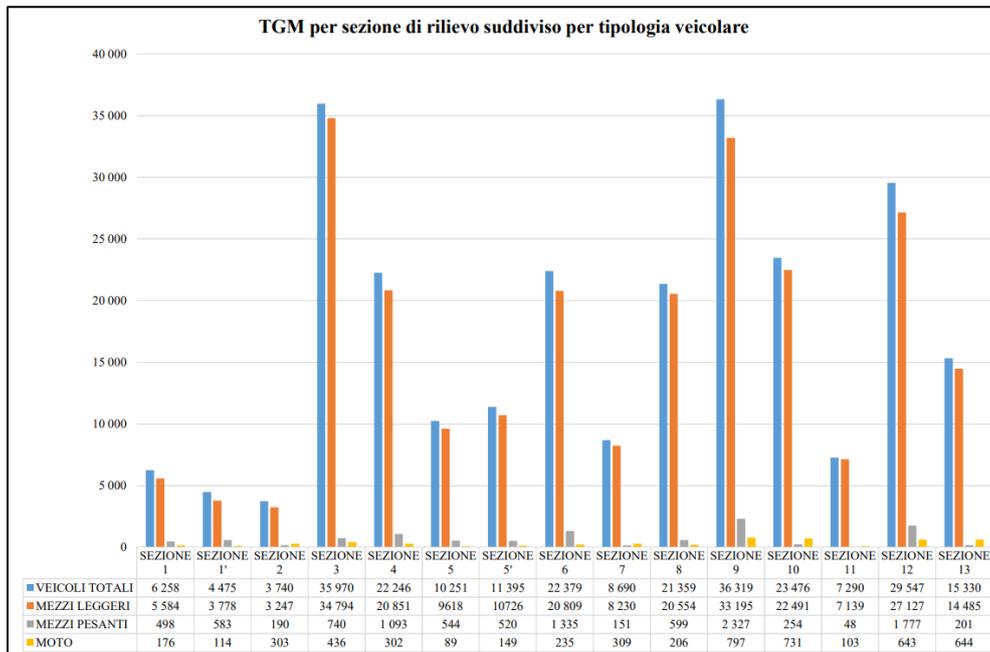
La Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..16** rappresenta graficamente il TGM di ciascuna sezione, distinto per tipologia di veicolo.



**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..16 - TGM DELLE SEZIONI\_PERIODO AUTUNNALE**

### 3.5.3 Periodo estivo

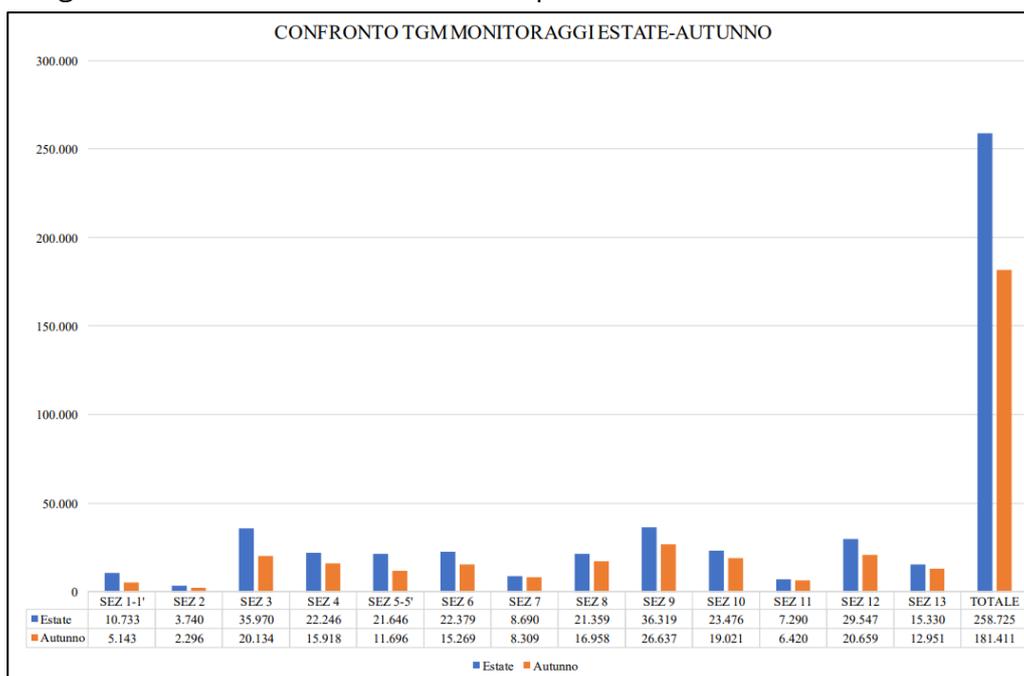
Nel grafico in Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..17** è rappresentato l'andamento del TGM per ciascuna sezione di rilievo e con riferimento alle tre tipologie di veicolo.



**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..17 - TGM DELLE SEZIONI\_PERIODO ESTIVO**

### 3.5.4 I rilievi alle sezioni

Nel periodo autunnale i vei/g monitorati sono stati pari a 181.411, pari al 29% in meno rispetto al periodo estivo (258.725 veic/g). Tale diminuzione risulta più marcata nelle sezioni 1-1', nelle quali raggiunge il 52%. Nelle sezioni 3 e 5-5' si riscontra un calo del 44÷46%; nella sezione 2 la percentuale di vei/g monitorati nel periodo autunnale è pari al 39% in meno rispetto al periodo estivo, mentre nelle sezioni 4, 6 e 12 la diminuzione risulta pari al 29%. Nelle restanti sezioni, il calo risulta inferiore al 29% con il valore minimo nella sezione 11 (-12%). La sezione 9 risulta quella con il maggior numero di veicoli complessivamente rilevati in entrambi i periodi di analisi (14%). Il minor numero di veicoli in transito sia nel periodo autunnale che in quello estivo si riscontra invece nella sezione 2, dove la percentuale dei veicoli rilevati rispetto al valore totale è di poco superiore all'1%. La Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..18** mostra graficamente il confronto tra i due periodi di analisi.



**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..18 - CONFRONTO ESTATE-AUTUNNO DELLE 13 SEZIONI DI MONITORAGGIO**

I due periodi di riferimento presentano andamenti simili, con due picchi corrispondenti alle ore di punta. Mentre nel periodo estivo l'ora di punta del mattino si riscontra nella fascia oraria compresa tra le 9:00 e le 10:00 con 17.452 vei/h, nel periodo autunnale questa si verifica nella fascia oraria che va dalle 8:00 alle 9:00 con un valore pari a 16.536 vei/h (-6%). Per quanto riguarda l'ora di punta

serale, nel periodo estivo questa si verifica nella fascia oraria compresa tra le 18:00 e le 19:00 con 18.627 vei/h mentre in autunno essa si individua in un arco di tempo di due ore, dalle 17:00 alle 19:00 con circa 14.300 vei/h (-23%).

### 3.5.5 I rilievi alle intersezioni

Il monitoraggio del flusso veicolare in transito nelle 8 intersezioni esaminate è stato condotto in due fasce orarie distinte:

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

Nella fascia oraria del mattino, sono stati contati complessivamente 18.309 veicoli nel periodo estivo e 18.859 in quello autunnale con una differenza del 3%. Nella fascia serale invece, sono stati 19.980 i veicoli in transito nel periodo estivo e 20.809 in quello autunnale con una differenza del 4%.

### 3.6 Il modello di simulazione

Una volta effettuata la zonizzazione dell'area di studio, si è proceduto alla costruzione degli archi rappresentativi delle infrastrutture stradali più importanti, associando a ciascuno di essi le informazioni sulle caratteristiche principali e, successivamente, all'elaborazione della matrice Origine/Destinazione<sup>2</sup>. Il grafo di rete è stato quindi caricato sul software di simulazione dei sistemi di traffico SUMO (pacchetto NetEdit). Gli intervalli di tempo sui quali si è sviluppata l'analisi sono stati, sia per il periodo estivo che per quello autunnale, i seguenti:

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

Una volta costruita la matrice O/D, questa è stata corretta sulla base dei flussi rilevati, utilizzando il pacchetto Marouter, il quale effettua un'**assegnazione all'equilibrio** stocastico in modo iterativo. L'assegnazione di carico stocastico della rete, svolta in ciascuna iterazione, è basata su un modello logit modificato (proposto da Lohse). Marouter fornisce come output il file - olbia.netload.xml che contiene i flussi, i tempi di percorrenza medi e il grado di saturazione di ogni arco del grafo, oltre al file con estensione olbia.routemarouter.xml che riporta tutti gli itinerari utilizzati per congiungere ciascuna coppia O/D degli archi percorsi da ogni itinerario. Una volta corretta la matrice O/D, i flussi ottenuti mediante l'assegnazione di equilibrio sono stati utilizzati per calcolare il livello di servizio di ogni arco viario, analizzandone i ritardi ed i flussi transitanti. Infine, è stata effettuata un'**assegnazione dinamica**, utilizzando il pacchetto Duaiterate per

---

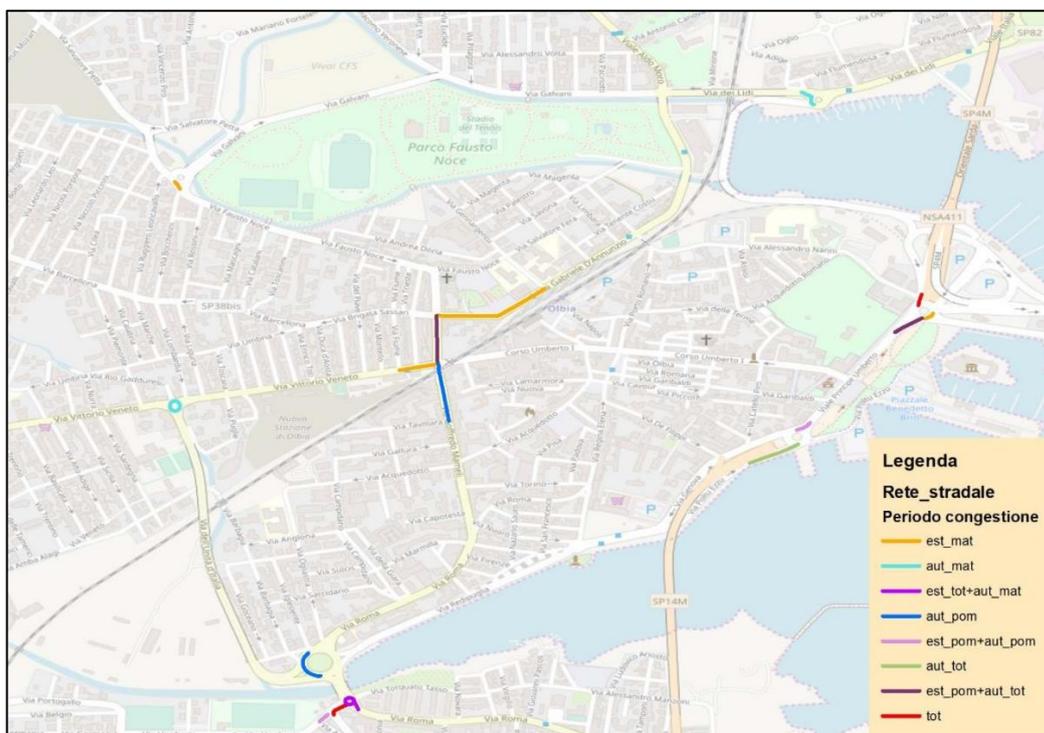
<sup>2</sup> Elaborazione basata sui dati della matrice O/D ISTAT 2011

simulare le interazioni dirette fra i veicoli all'interno della rete di Olbia e la loro variazione, con conseguente modifica dei livelli di servizio della viabilità, in funzione del tempo.

### 3.7 I risultati del modello all'equilibrio

Per l'analisi dei risultati ottenuti dall'assegnazione all'equilibrio, è stato fissato il valore di velocità media oraria di 10 km/h come soglia di individuazione per le condizioni di congestione della viabilità. Sono stati quindi ricavati i flussi di traffico espressi in veicoli/ora nelle ore di picco mattutina e serale riferite al periodo estivo ed invernale.

La Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..19** evidenzia gli archi interessati da fenomeno di congestione, differenziandoli sulla base del periodo di tempo nel quale ha luogo il fenomeno. La Tabella **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..3** invece, fornisce i dati di macro-livello sulle simulazioni effettuate indicando la percentuale degli archi nei quali ha luogo il superamento del limite di capacità con conseguente fenomeno di congestione ed il valore medio del rapporto flusso/capacità ( *saturazione*) degli stessi.



**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..19 - 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%

TABELLA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..3 - MACRO CARATTERISTICHE DELLE SIMULAZIONI

### 3.8 I risultati del modello dinamico

L'assegnazione dinamica intraperiodale è stata effettuata mediante il pacchetto Duaiterate. L'algoritmo di routing utilizzato di default in Dualterate è l'algoritmo di Gawron: ciascun veicolo viene assegnato all'itinerario di minimo costo, che però viene aggiornato iterativamente sulla base delle condizioni di traffico. Sono state effettuate 1.000 iterazioni per ciascuna simulazione. Questo ha permesso di ottenere uno scenario di simulazione dinamica finale ben definito, con code di traffico e rallentamenti molto simili a quelli ottenuti dal modello all'equilibrio. Per la verifica della similitudine tra le due simulazioni è stato fatto un confronto tra i due vettori ottenuti dall'assegnazione di equilibrio probabilistica, **feq** (pacchetto Marouter) e dall'assegnazione dinamica, **fdin** (pacchetto Duaiterate). A tale scopo sono stati utilizzati i due indici RMSE% e DIFFP qui sotto riportati:

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

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

Dove:

feq,i = flusso sull'arco i-esimo ottenuto mediante assegnazione di equilibrio

fdin,i = flusso sull'arco i-esimo ottenuto mediante assegnazione dinamica

na = numero di archi della rete

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

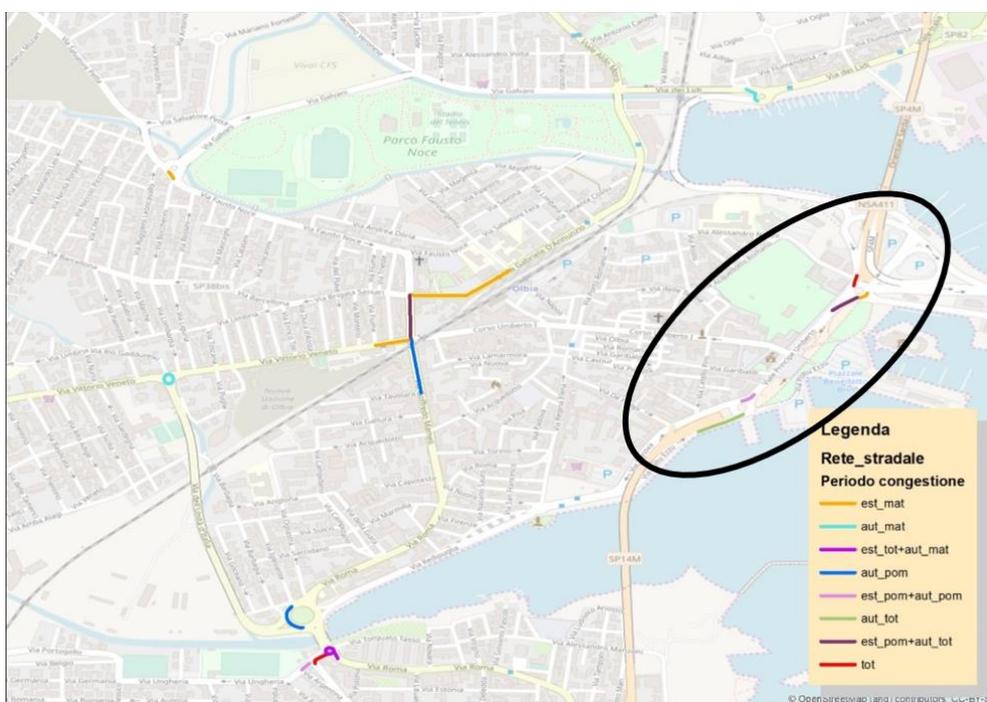
Le elaborazioni svolte risultano i seguenti valori per gli indici RMSE% e DIFFP% :

RMSE% = 10,45% **DIFFP% = 6,41%**

Questo risultato, soprattutto relativo all'indice DIFFP, che pesa ogni scarto sulla quantità di flussi realmente transitanti nell'arco, indica come i due modelli (equilibrio e dinamico) siano perfettamente allineati.

### 3.9 ANALISI DEI FLUSSI ATTUALI

La presente analisi dei flussi è funzione di possibili scenari alternativi di riassetto del traffico partendo dalle valutazioni fatte in precedenza e considerando l'invarianza delle dimensioni delle infrastrutture viarie di accesso/egresso al/dal Porto. Sulla base di queste considerazioni i punti critici della rete sono stati individuati attraverso la modellizzazione con il software SUMO dello stato attuale e rappresentati nella Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..20**.



**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..20 - LE AREE DI MAGGIOR PRESENZA DI CONGESTIONE**

Da tale figura si evidenzia come i fenomeni di maggior congestione avvengono sulla viabilità interna e sulla viabilità del waterfront portuale di accesso al porto dalla zona meridionale (vedi riquadro nero in figura).

Ad ulteriore verifica dei punti critici della viabilità, a partire dalle rilevazioni effettuate ed illustrati nei paragrafi precedenti, si sono estratti i flussi sulle diverse sezioni della viabilità di interesse ed in particolare su quella del waterfront portuale.

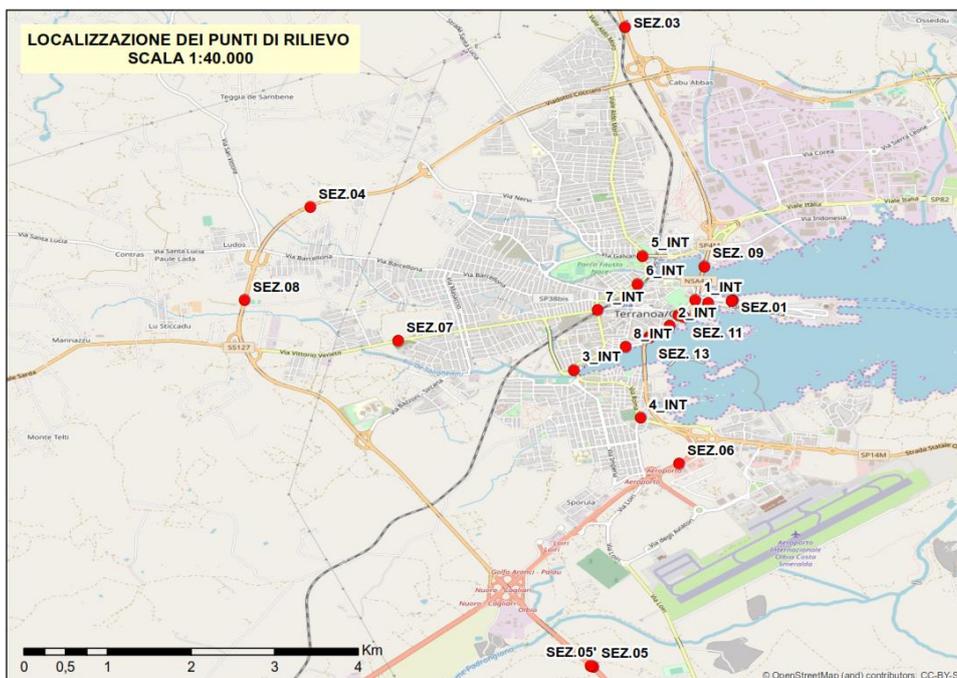
Prendendo a riferimento le sezioni 05 e 03 si sono verificate la quantità e tipologia di flussi bidirezionali in accesso/egresso dall'entroterra sud e da nord di Olbia.

Sezione	Tipo traffico	Periodo			
		Estate: 8-9	Estate: 18-19	Autunno: 8-9	Autunno: 18-19
05	Leggero	1.488	1.703	814	855
	Pesante	73	61	78	45
	Moto	15	20	0	3
03	Leggero	1.988	2.429	1.235	1.667
	Pesante	71	31	65	17
	Moto	17	33	8	7

**TABELLA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..4 - FLUSSI RILEVATI NELLE DUE SEZIONI DI ACCESSO/EGRESSO ALL'AREA URBANA DI OLBIA PIÙ SIGNIFICATIVE**

Dall'analisi dei flussi della Tabella **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**4 - Flussi rilevati nelle due sezioni di accesso/egresso all'area urbana di Olbia più significative emerge come i flussi di veicoli leggeri provenienti da nord sono circa il 33% in più dei flussi provenienti dal versante posto a Sud mentre i flussi pesanti sono generalmente superiori quelli provenienti da sud.

Dall'analisi delle elaborazioni con il modello di simulazione del traffico si sono rilevate le possibilità di congestione lungo il percorso di accesso al porto, in quanto i flussi da nord vedono la sola confluenza di un minimo di transiti dal Viale Italia/SP82 mentre i flussi da sud vedono la confluenza dei flussi provenienti da Sassari e, nel percorso verso il porto, dei flussi dall'area sud provenienti dalla SS125.







**FIGURA ERRORE.** NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..23 – I PUNTI DI VERIFICA DEL LIVELLO DI CONGESTIONE STRADALE

Come si evince dalla Tabella **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..5** precedente, la maggior quantità di flussi in accesso al porto si hanno nel tratto 3, in ogni periodo dell'anno. Da tali dati emerge come vi sia la necessità di inserire dei sistemi di informazione alla mobilità per quelle correnti veicolari provenienti dal versante posto a sud della Città di Olbia. In particolare le informazioni sullo stato di congestione degli ingressi alla città di Olbia ed al Porto dovranno essere rivolti alle componenti pesanti del traffico veicolare, maggiormente responsabili delle congestioni urbane, al fine di decongestionare il nodo 3 che, nelle ore di punta, presenta particolari criticità.

### **3.10 Incidentalità**

Sono stati analizzati i dati di incidentalità degli anni 2014-2018 confrontando la viabilità di accesso da nord e da sud al porto sui diversi percorsi e si evince come i flussi da sud vadano ad interessare un numero maggiore di eventi incidentali, soprattutto sul tratto litoraneo della SS125.

Questo ulteriore elemento permette di certificare come sia opportuna l'installazione di un PMV che reindirizzi i flussi veicolari in arrivo/partenza al Porto dalla direzione sud.

### ***3.11 La costruzione degli scenari di riassetto del traffico con sistemi di info-mobilità***

#### **PREMESSA**

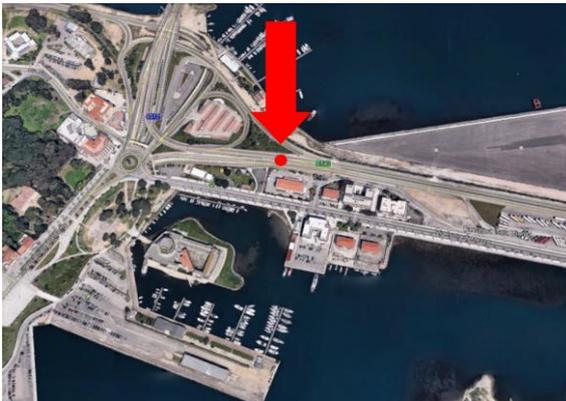
Nella presente sezione viene illustrata l'analisi di possibili scenari alternativi di riassetto del traffico partendo dalla considerazione preliminare che le dimensioni e le possibili alternative degli itinerari di accesso/egresso al/dal Porto sono invarianti. In relazione a questa ipotesi preliminare, a partire dai risultati della micro-simulazione dell'intera viabilità principale di Olbia e dai dati della rilevazione dei flussi effettuata in una settimana sia nel periodo estivo ed autunnale del 2019 su tredici sezioni stradali e su otto intersezioni, sono dapprima analizzati i livelli di congestione (cfr. 3.5), di incidentalità e di possibilità di reindirizzamento nei vari rami di accesso/egresso al/dal porto.

L'analisi illustrata nella 3.5 ha mostrato come i livelli di congestione maggiore si verificano nei rami provenienti da Sud e, quindi, per poter ridurre i carichi di traffico che congestionano tali arterie principali, è stata valutata, così come definita nella premessa generale al presente studio, la razionalizzazione dei flussi veicolari attraverso l'utilizzo di informazioni all'utente con un sistema di Pannelli a Messaggio Variabile-PMV.

#### ***3.12 I PANNELLI A MESSAGGIO VARIABILE***

##### **3.12.1 I PMV attualmente presenti sul territorio comunale**

Ad oggi sono presenti due PMV, entrambi non funzionanti, il primo localizzato sul lato destro della Banchina Isola Bianca, in uscita dal Porto (cfr. Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..24**) ed il secondo nei pressi della rotatoria all'intersezione fra la SS125, Via Mestre e via dei Mercanti (cfr. Figura **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..25**). Mentre il primo risulta utilissimo ed indispensabile per informare i flussi in uscita dal Porto, il secondo risulta importante perché serve ad informare coloro che arrivano al Porto dall'area sud, mediante il percorso litoraneo.



**FIGURA ERRORE.** NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..**24** – **IL PMV ESISTENTE NEI PRESSI DEL PORTO – LOCALIZZAZIONE GENERALE**



**FIGURA ERRORE.** NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..**25** – **IL PMV ESISTENTE NELL'ACCESSO MERIDIONALE LITORANEO AL PORTO – LOCALIZZAZIONE GENERALE**

Il sistema di info-mobilità previsto in progetto dovrà sfruttare questi due PMV ed integrarli con altri per completare il sistema di gestione e re-indirizzamento dei flussi veicolari nel comune di Olbia.

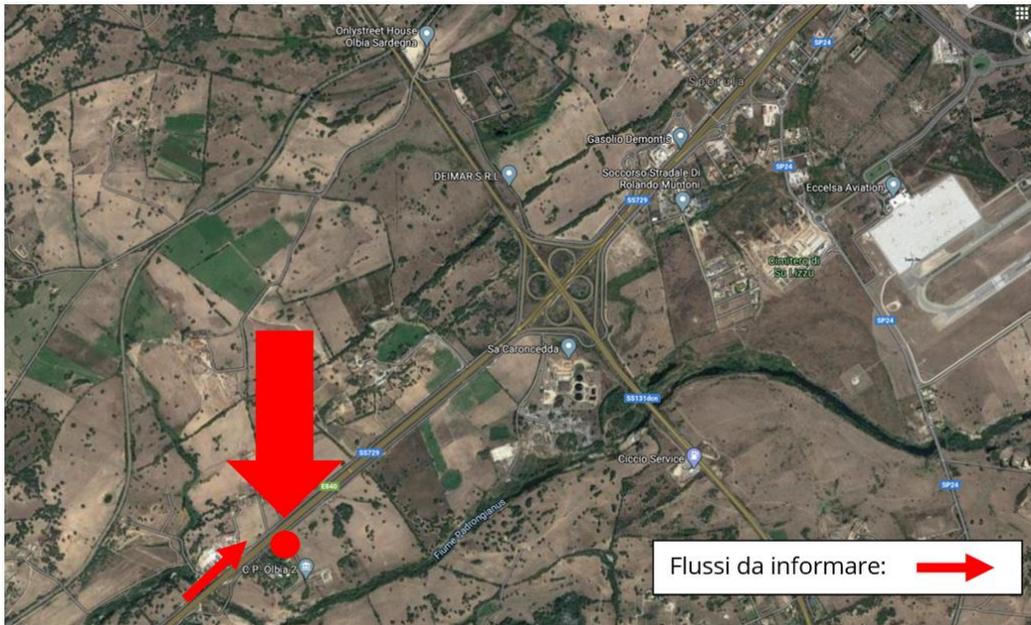
### 3.12.2 I due nuovi PMV

Dalle analisi descritte nella SEZIONE I.3.5 emerge come sia opportuno privilegiare la localizzazione di sistemi di info-mobilità con PMV nella parte sud della città di Olbia ed in particolare nei punti della rete stradale indicati nella Tabella Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..6**, nella Figura Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..26** e Figura Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato..27**. Con tali PMV si prevede di fornire quelle informazioni di Info-mobilità nei confronti dei flussi veicolari provenienti da Sassari, mediante la SS729 (PMV n.1) e dei flussi provenienti da sud dalla SS 131 dcn (PMV n. 2).

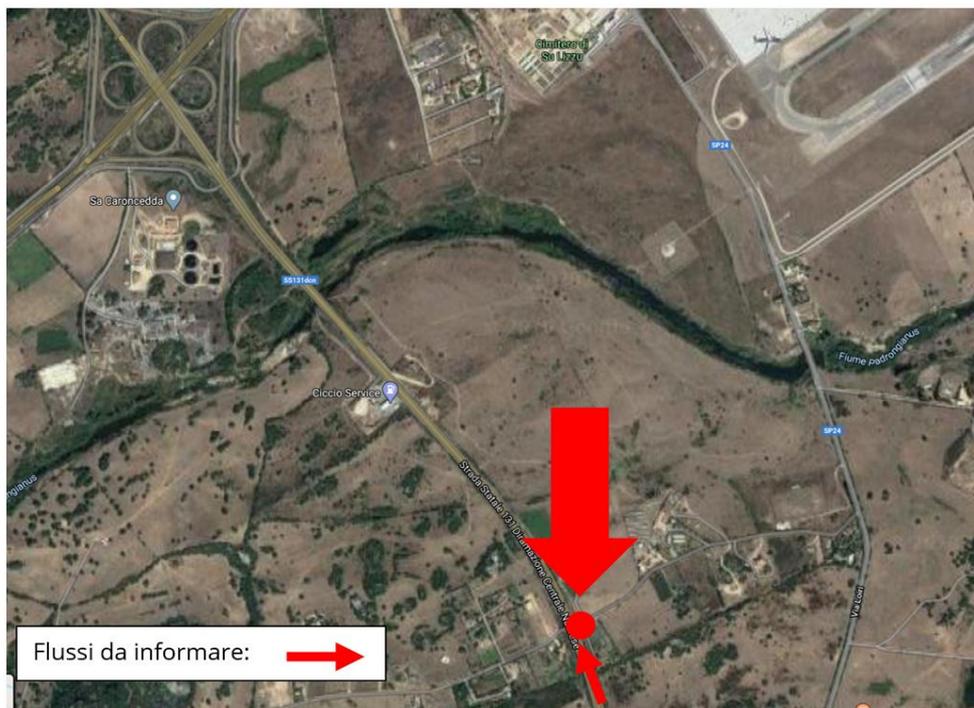
ID	Via	Posizione	Coordinate	
			N	E
PMV n.1	SS729	Km 75,800	40,884133	9,472717
PMV n.2	SS131 dcn	Km 142,100	40,881857	9,498661

**TABELLA ERRORE.** NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..**6**: **LOCALIZZAZIONE DEI PMV N° 1 E 2**

Nelle successive figure vengono indicate le localizzazioni dei due PMV nella rete stradale di accesso ad Olbia.



**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..26 – IL NUOVO PMV n.1 – LOCALIZZAZIONE GENERALE**



**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..27 – IL NUOVO PMV n.2 – LOCALIZZAZIONE GENERALE**

### **3.13 SCENARI DI GESTIONE DEL TRAFFICO**

Con la definizione della localizzazione della posizione dei PMV, di seguito viene illustrata la modalità di gestione e di individuazione degli scenari di

razionalizzazione del traffico attraverso la piattaforma ITS di gestione della messaggistica con i PMV. Il sistema dovrà indicare, in relazione ad eventi programmati (concomitanza di più imbarchi/sbarchi contemporanei di navi, manutenzioni ed interventi sulla viabilità stradale, ecc), o di eventi improvvisi (incidenti sulla viabilità che conduce al porto, temporanei fenomeni di congestione stradale, etc...).

I messi di info mobilità veicolati con i PMV potranno essere integrati con ulteriori strumenti di informazione all'utente quali ad esempio APP specifiche o web-services.

Con tale sistema, in relazione alle considerazioni illustrate precedentemente, è possibile prevedere numerosi scenari info-mobilità e di intervento sul re-routing dei veicoli mediante messaggi da inviare attraverso i PMV. Nello specifico tali messaggi potranno riguardare il reindirizzamento dei veicoli a seconda dei casi secondo le seguenti tipologie:

#### **TIPO 1 - MESSAGGIO SU CONGESTIONE DEL TRAFFICO**

Messaggio di informazione su code in accesso al porto lungo la viabilità SS125 su versante a sud, e consiglio di accedere al porto da altra viabilità (per esempio dal nodo nord della stessa SS125)

Relativamente agli esempi di messaggi indicati, in funzione dei flussi veicolari monitorati con i sensori di traffico illustrati nel successivo capitolo 3.14 , verranno fatte delle ipotesi di impatto che tali messaggi potranno fornire nei confronti dei flussi veicolari e che verranno dettagliatamente illustrati nella successiva SEZIONE I.3.15.

#### **TIPO 2 - MESSAGGIO SU RITARDO NAVE**

Messaggio di informazione su ritardi nell'arrivo di navi al porto, con l'indicazione dell'area di sosta temporanea da utilizzare.

L'impatto di questo messaggio potrà essere valutato una volta identificate le diverse aree di sosta da utilizzare.

#### **TIPO 3 - MESSAGGIO DI INACCESSIBILITA'**

Messaggio di informazione su incidente stradale, con l'indicazione di accesso al porto alternativo.

L'impatto di questo messaggio potrà essere valutato definendo una strategia di reindirizzamento ed intervento con la polizia locale e le Forze dell'Ordine.

#### **TIPO 4 - MESSAGGIO DI CONGESTIONE STRADALE**

Messaggio di informazione sulle code riguardante l'informazione su situazioni di criticità generate da fenomeni di congestione lungo la viabilità principale di accesso/uscita al porto, come ad esempio la via Principe Umberto o il sottopassaggio sulla SS 125 lungo il waterfront portuale della città di Olbia, con indicazione della viabilità alternativa.

L'impatto di questo messaggio potrà essere valutato definendo una strategia di reindirizzamento ed intervento con la polizia locale e le Forze dell'Ordine.

### 3.14 I RILEVATORI DI FLUSSO

La rilevazione dei flussi di traffico costituisce uno degli elementi del sistema ITS di info-mobilità fondamentali: infatti con il monitoraggio continuo sarà possibile, una volta rilevate condizioni di criticità (elevati flussi veicolari e quindi elevati emissioni di rumore), sarà possibile inviare con i PMV messaggi che avvisano gli utenti e ne reindirizzano i loro itinerari. Per essere efficaci i sistemi di monitoraggio del traffico, sono stati previsti lungo le arterie stradali che presentano maggiore probabilità di congestione sia mediante l'analisi modellistica e le rilevazioni di traffico effettuate, sia attraverso un confronto diretto con l'Autorità Portuale di Olbia ed altri Stakeholder locali.

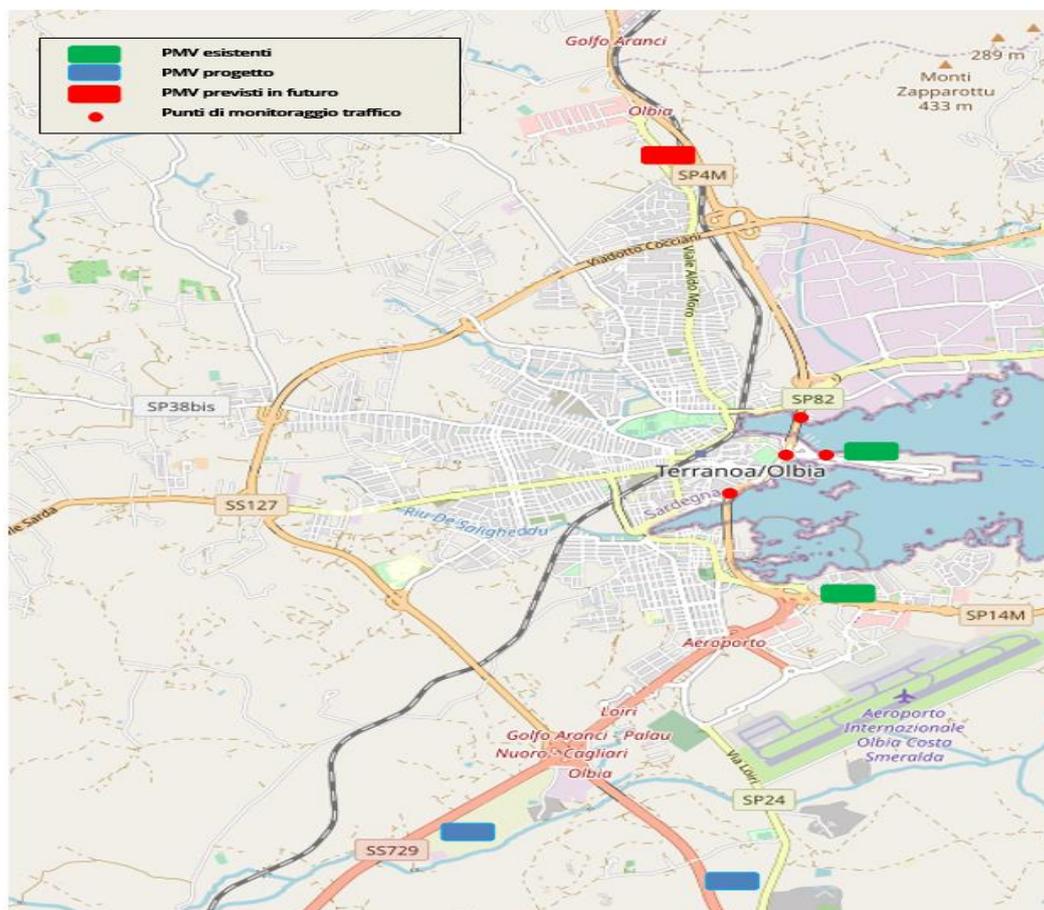
In pratica, le localizzazioni nascono dall'analisi dei fenomeni più frequenti di coda, spesso presente sulla viabilità di più immediato accesso/uscita al Porto (per lo più sulla Banchina Isola Bianca), e dalla complementare necessità di conoscere i flussi più generali di accesso/uscita al Porto e dei flussi di transito sulla viabilità del waterfront portuale di Olbia, costituita dalla SS125.

Le localizzazioni, con le loro caratteristiche e coordinate, sono indicate nella seguente Tabella **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato..7** mentre nelle successive figure vengono indicati le localizzazioni dei singoli sensori.

ID	Via	Posizione	Coordinate	
			N	E
SP n.1	Banchina Isola Bianca	In linea con il parcheggio e sulla rampa di uscita	40,924755	9,509126
SP n.2	Isola Bianca	Nei pressi del parcheggio Isola Bianca	40,924554	9,507624
SP n.3	S.P. 4M	Prima dell'accesso al sottopasso, in direzione nord	40,921120	9,502346
SP n.4	S.P. 14M	Uscita Tempio	40,931265	9,508584

**TABELLA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..7: LOCALIZZAZIONE DEI RILEVATORI DI TRAFFICO**

Nella successiva Figura Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**..28 vengono indicate le localizzazioni di tutte le infrastrutture previste del sistema di info-mobilità basato su PMV.



**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..28 – PIANO DI LOCALIZZAZIONE DELLE INFRASTRUTTURE DI RILEVAZIONE ED INFO-MOBILITÀ**

### ***3.15 L'applicazione del modello predittivo con le reti neurali ai dati di simulazione del traffico con il software sumo.***

#### **PREMESSA**

La sezione di trasporti dell'Università degli Studi di Cagliari, ha sviluppato un modello di simulazione basato sull'architettura delle reti neurali per la predizione dell'andamento del rumore da traffico veicolare nei *waterfront* delle città portuali. La presenza di un porto marittimo, integrato nella linea urbana del *waterfront*, ha le potenzialità di esporre le aree confinanti ad un ampio range di variabilità del traffico che si esauriscono in differenti scale temporali e può realizzare un contesto urbano acusticamente complesso in continua evoluzione. Realizzazioni di *traffico - rumore* di bassa intensità durante i periodi ordinari di morbida si alternano ricorsivamente a condizioni severe di elevati volumi di traffico durante i periodi di punta, infatti le attività portuali, indotte dagli accessi al porto, soprattutto nella stagione turistica, influenzano dinamicamente il volume e la composizione del flusso veicolare proprio quando sono in corso le attività di imbarco e sbarco dei veicoli.

I classici modelli statici di *traffico - rumore*, basati su delle ipotesi e analisi puramente statistiche non sono strumenti di previsione pienamente adeguati a incorporare e riprodurre le caratteristiche dinamiche del comportamento traffico - rumore nelle diverse scale temporali specifiche di tali contesti e potrebbero condurre a risultati non realistici nella previsione dell'impatto delle strategie di traffico volte alla riduzione del rumore urbano.

L'architettura di rete neurale adattativa che è stata adottata per sviluppare il modello di predizione è risultata adeguata a riprodurre in misura soddisfacente la dinamica dell'evento traffico rumore con raffinatezza temporale pari ad 1 minuto. Il modello neurale è stato addestrato e testato con successo utilizzando dati sperimentali del rumore e del traffico, acquisiti durante due periodi di misura caratterizzanti il clima acustico su base annuale della città portuale di Olbia. Per condurre la procedura di addestramento e la validazione della fase di generalizzazione sono stati selezionati i seguenti periodi di misura caratterizzanti: un periodo di morbida della durata di tre giorni durante il mese di marzo, in cui i volumi del traffico sono ordinari e un periodo di punta della durata di ulteriori tre giorni del mese di agosto, rappresentativi del periodo di massima intensità annuale del traffico. La capacità del modello di generalizzare quanto appreso dal sottoinsieme di addestramento è stata testata su un insieme di test di grandi dimensioni composto da una sequenza di 7750 record di un minuto ciascuno che corrispondono all'89% di tutte le 8640 osservazioni sperimentali mentre il training

set è composto dal restante 11%. Pertanto, una sequenza sperimentale composta da 890 minuti di valori mediati del livello di pressione sonora (su base 1 minuto), sincronizzate con le corrispondenti misure del traffico veicolare su 11 sezioni stradali, è risultata sufficiente per prevedere l'evoluzione temporale della pressione del livello sonoro su 8640 minuti con un errore mediamente inferiore al valore di 1 dB, utilizzando i dati del traffico come sorgente esogena dei dati di input. Il modello adattativo ha esibito la capacità di predire dinamicamente il livello di pressione sonora, con un errore inferiore al decibel, in determinati punti di misura del fronte del porto della città di Olbia, mentre le sorgenti di traffico evolvono in differenti scenari.

Nel presente studio viene illustrata la capacità del modello adattivo di prevedere in che misura specifiche strategie di gestione e redistribuzione del traffico veicolare incidono sulla riduzione del rumore urbano in determinate aree che ricadono sotto l'influenza delle attività del porto marittimo della città di Olbia. I tre punti di misura che erano stati in origine selezionati per lo sviluppo del modello di previsione vengono in questa fase riconsiderati per analizzare la risposta acustica del modello (in termini di pressione sonora equivalente  $L_{eqA, 1}$ ) quando riceve in input scenari di traffico opportunamente selezionati e generati numericamente.



**FIGURA ERRORE.** NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..**29: POSIZIONE DEI MISURATORI DEL LIVELLO DI PRESSIONE SONORA E DEI SENSORI DI TRAFFICO NELL'AREA URBANA DEL WATERFRONT DELLA CITTÀ PORTUALE DI OLBIA DURANTE LE CAMPAGNE SPERIMENTALI DEL 2019.**

Lo sviluppo di questo studio si basa sulla capacità di generalizzazione del modello al fine di determinare quali valori di pressione sonora equivalente  $Leq_A$  si instaurerebbero nei punti di misura fonometrici (FA, FB e FC in Figura Errore. **Nel documento non esiste testo dello stile specificato.**..29 ) qualora un determinato scenario di traffico si realizzerebbe nelle 11 sezioni stradali del waterfront portuale di Olbia. Gli opportuni scenari sintetici di traffico nelle 11 sezioni stradali sono stati generati tramite il tool di simulazione numerica SUMO. Sulla base delle prestazioni mostrate dal modello traffico rumore nelle fasi di generalizzazione del periodo di punta di agosto e di morbida di marzo, si può ragionevolmente sperare che la risposta del modello risulti affidabile anche nel caso in cui la sorgente dei dati di input sia il risultato di simulazioni numeriche e non più derivate direttamente da misure sperimentali. La positività dei risultati ottenuti nella fase di generalizzazione indicano che le realizzazioni campionarie del traffico e del livello di pressione sonora del rumore che si sono verificate durante i due periodi di morbida e di punta di marzo e di agosto e che sono state misurate e registrate per addestrare il modello ad apprendimento, sono pienamente rappresentative dello spazio campionario che forma l'universo delle possibili realizzazioni dell'evento traffico rumore considerato. Vale la pena osservare che il presente studio può anche essere considerato uno strumento complementare per una validazione qualitativa del modello sviluppato, infatti permette di verificare la coerenza delle risposte del modello rispetto al fenomeno fisico della generazione e propagazione del rumore acustico.

### **3.16 METODOLOGIA**

Al fine di ottenere dei risultati confrontabili con quelli ottenuti in fase di training e test del modello neurale, è necessario che i dati di input sintetici (generati numericamente) vengano inseriti correttamente ovvero che indichino i valori dei flussi veicolari riferiti esattamente alle stesse posizioni in cui sono stati acquisiti gli omologhi valori sperimentali ed espressi secondo le stesse unità di misura.

Allo stesso modo i valori di output determinati dal modello ANN sono da intendersi riferiti agli stessi punti degli omologhi sperimentali (come detto nella PREMESSA).

Per questo motivo indichiamo nel dettaglio il metodo seguito al fine di condurre l'elaborazione.

### 3.16.1 Dai dati di traffico generati dal modello SUMO alla composizione per tipologia

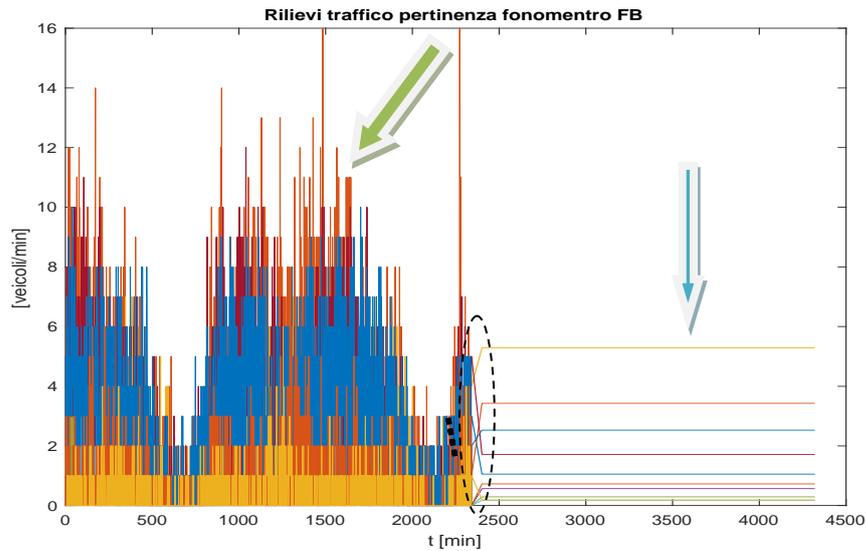
Poiché i dati forniti dal tool di simulazione SUMO sono espressi in veicoli equivalenti su base oraria per ciascuna sezione stradale considerata, mentre i dati necessari al funzionamento dell'ANM vengono espressi in veicoli per minuto, suddivisi in classi basate sulla loro lunghezza, si sono quindi rese necessarie diverse elaborazioni preliminari per armonizzare la natura dei dati.

In primo luogo, si sono considerati i dati sperimentali sulla composizione del traffico per classi e direzioni di marcia in ogni sezione ed è stato ricavato il valore normalizzato (quindi relativo) per ciascuno dei valori delle sezioni, delle direzioni di marcia e delle classi di veicolo.

Successivamente è stata operata la distribuzione dei valori di flusso generati da SUMO secondo la distribuzione normalizzata riferita all'orario considerato, seguendo le indicazioni HCM del 1985 per quel che riguarda i coefficienti di equivalenza. Nella Tabella **Errore. Nel documento non esiste testo dello stile specificato.** viene riportato un esempio di dataset numerico del traffico che è stato utilizzato come input del modello per determinare i valori del livello di pressione sonora equivalente.

		Veicoli equivalenti totali	Assoluti a partire dalla simulazione SUMO					Tot
			Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	
<b>1A</b>		931.85	208.8629	498.0578	185.911	18.36158	12.91048	<b>924.1037</b>
<b>1B</b>		796.65	25.5512	635.1299	119.5431	9.12543	4.562715	<b>793.9124</b>
<b>1C</b>		780.6	42.38106	664.2985	61.10758	5.913636	4.312027	<b>778.0128</b>
<b>1D USCITA DAL PORTO</b>	dir 1	1227	17.69712	147.476	740.3293	224.1635	60.83383	<b>1190.5</b>
<b>1D DIREZ. PORTO</b>	dir2	703	49.35674	158.7419	273.463	136.0645	53.35863	<b>670.9848</b>
<b>1E</b>			0	0	0	0	0	<b>0</b>
			0	0	0	0	0	<b>0</b>
			0	0	0	0	0	<b>0</b>
<b>2A DIR. NORD</b>	dir 1	664.7	64.78558	211.201	325.2236	34.98421	17.81603	<b>654.0104</b>
<b>2A DIR. SUD</b>	dir2	502.05	16.3712	158.2549	233.2895	66.84905	17.05333	<b>491.818</b>
<b>3A (SOLO DIR.</b>		405.45	23.85	220.6125	146.0813	1.490625	8.384766	<b>400.4191</b>

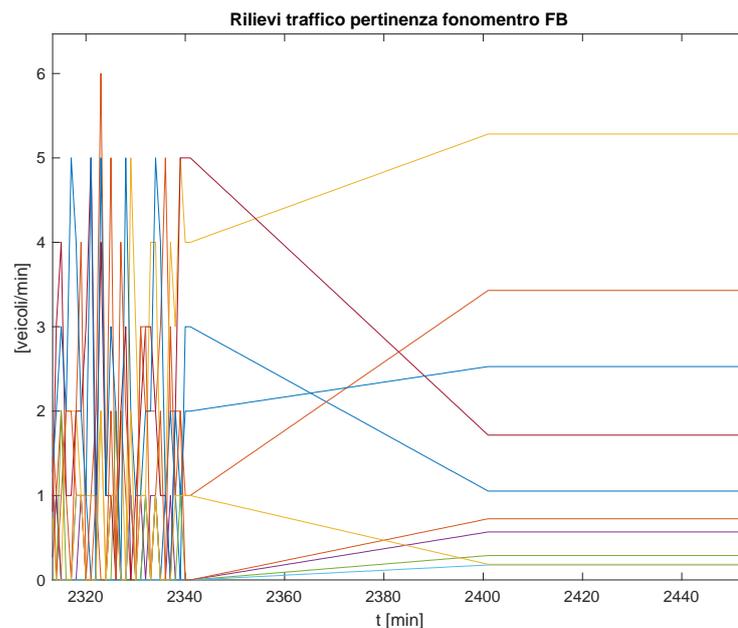




**FIGURA ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..30 ESEMPIO DI DATASET SINTETICO, COMPLETO DI TERMINE DINAMICO, TRANSITORIO E STAZIONARIO. OGNI COLORE RAPPRESENTA UNA CLASSE DI VEICOLI E UNA DIREZIONE DI MARCIA.**

Si noti che i dati *storici* arrivano sino all'ora della giornata a cui sono riferiti gli scenari di traffico simulati nel modello trasportistico SUMO, ovvero questi dati puntuali si *innestano* nella serie temporale sperimentale in corrispondenza dell'orario a cui sono riferiti, al fine di rendere la stima ed il funzionamento della rete neurale più attendibile e robusto.

Per ogni postazione fonometrica è stato costruito un analogo dataset con le sezioni stradali di pertinenza.



**FIGURA** ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..**31** **DETTAGLIO SUL TRANSITORIO DI**  
**FIGURA** ERRORE. NEL DOCUMENTO NON ESISTE TESTO DELLO STILE SPECIFICATO..**30. OGNI COLORE RAPPRESENTA UNA**  
**CLASSE DI VEICOLI E UNA DIREZIONE DI MARCIA.**

### 3.16.3 RISULTATI

Di seguito vengono descritti gli scenari presi in esame per le simulazioni. Alla fine del paragrafo viene quindi riportato anche uno specchio riassuntivo delle stime ottenute per ciascuna postazione fonometrica e ciascuno scenario. Per i dati relativi alle stime di traffico veicolare restituite dal software SUMO ed ai dataset sintetici, completi dei termini dinamici, transitori e stazionari, si rimanda alla elaborazione estesa allegata al progetto Report.

#### Scenario 1

Questo scenario è relativo alla situazione attuale nella fascia oraria dalle 11 alle 12 del periodo di punta e ha lo scopo di verificare la rispondenza delle simulazioni, senza strategie di reindirizzamento, con i dati sperimentali, attraverso una taratura del modello SUMO, utilizzato come generatore di dati di traffico da fornire come input al modello neurale.

Lo scenario rappresenta la modellazione numerica di una configurazione complessiva molto simile a quella osservata nella fascia oraria compresa tra le 11 e le 12 del periodo di punta durante la campagna sperimentale nel medesimo orario e con condizioni al contorno simili. Sia i valori relativi ai flussi veicolari che quelli relativi al rumore sono vicini e coerenti con quelli acquisiti sperimentalmente.

#### Scenario 2

Questo scenario si riferisce alla fascia oraria dalle 11 alle 12 del periodo di punta e considera i PMV attivi, sia i due in direzione porto, sia quello in uscita dal porto sulla Banchina Isola Bianca.

Viene simulata situazione che si potrebbe registrare qualora si deviassero i flussi di traffico in maniera opportuna tramite l'uso di pannelli a messaggio variabile ed App. Sia i valori relativi ai flussi veicolari che quelli relativi al rumore sono diversi rispetto a quelli dello Scenario 1. Si può notare che i valori di  $L_{eqA}$  in generale sono più bassi rispetto al 1° scenario, indicando che un intervento di questo tipo produce senza dubbio dei benefici in termini di mitigazione del rumore generato dal traffico.

### Scenario 3

Questo scenario, similmente allo Scenario 1, è relativo alla situazione attuale ma riferito alla fascia oraria dalle 08 alle 09 con lo stato attuale dei flussi scaturiti dal modello di traffico calibrato con i dati di traffico nel periodo estivo di punta.

Questo scenario rappresenta la modellazione numerica di una configurazione complessiva molto simile a quella osservata nella fascia oraria compresa tra le 08 e le 09 del periodo di punta durante la campagna sperimentale nel medesimo orario e con condizioni al contorno simili. Sia i valori relativi ai flussi veicolari che quelli relativi al rumore sono vicini e coerenti con quelli acquisiti sperimentalmente.

### Scenario 4

Questo è lo scenario di progetto, nella fascia oraria 8:00-9:00, quando è prevista la partenza e l'arrivo di una grande nave nell'ora di punta. Questa genera un flusso di 530 veic/h in direzione porto e 900 veic/h in uscita dal porto, senza reindirizzamento per effetto dei PMV e le App.

Diversamente da quanto esposto nello scenario 5, qui viene simulata la situazione che si potrebbe registrare nel caso non si deviassero i flussi di traffico in maniera opportuna tramite l'uso di pannelli a messaggio variabile ed App allo scopo di mitigare il rumore nel fronte del porto quando è prevista la partenza e l'arrivo di una grande nave. Sia i valori relativi ai flussi veicolari che quelli relativi al rumore sono sensibilmente più alti rispetto a quelli dello Scenario 3. Si può notare che i valori di  $L_{eqA}$  in generale sono più alti rispetto al 5° scenario, indicando che senza un intervento di mitigazione del rumore generato dal traffico i valori di livello sonoro equivalente nei punti di osservazione sarebbero sensibilmente più alti.

### Scenario 5

Questo è lo scenario di progetto, nella fascia oraria 8:00-9:00, quando è prevista la partenza e l'arrivo di una grande nave nell'ora di punta. Questa genera un flusso di 530 veic/h in direzione porto e 900 veic/h in uscita dal porto, con reindirizzamento per effetto dei PMV e delle App.

Questo scenario simula la situazione che si potrebbe registrare nel caso si deviassero i flussi di traffico in maniera opportuna tramite l'uso di pannelli a messaggio variabile ed App allo scopo di mitigare il rumore nel fronte del porto nella fascia oraria compresa tra le 08 e le 09 del periodo di punta. Sia i valori relativi ai flussi veicolari che quelli relativi al rumore sono significativamente diversi



Scenario **3**, si stima una sensibile riduzione del rumore quando si ipotizza un importante reindirizzamento del traffico a mezzo dei PMV e delle App. Questa stima indica un beneficio che si potrebbe produrre con degli opportuni interventi di riassetto del traffico veicolare mirati alla mitigazione del rumore, che tuttavia non hanno ripercussioni sulle normali attività portuali.

#### **4. Prodotto T2.3.1: Report analisi nuovi sistemi di propulsione.**

Le attività della componente T2.3.1 sono state condotte dall'Università di Pisa: il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni insieme al Dipartimento di Fisica. La ricerca è consistita nell'analisi delle emissioni sonore delle attività portuali di movimentazione delle merci e sviluppo di modelli delle sorgenti, in particolare quelle relative ai sistemi di propulsione dei mezzi per la movimentazione. La stima dei livelli di potenza sonora è stata condotta anche nell'ipotesi di utilizzare nuovi vettori energetici per l'alimentazione dei sistemi di propulsione. Il caso di studio esaminato è stato l'Area Terminal Darsena Toscana del Porto di Livorno, dove sono state effettuate misurazione acustiche in campo con la collaborazione della Direzione Sviluppo e Innovazione dell'Autorità Portuale di Livorno e dell'Ufficio HQSE Manager della Società Terminal Darsena Toscana.

E' stata sviluppata una campagna di misure nell'Area Terminal Darsena Toscana del Porto di Livorno relativa alle principali attività rumorose di movimentazione delle merci con automezzi su gomma con propulsione mediante motori diesel (ad esempio, reach-staker, transtainer e gru di banchina). I rilievi acustici sono stati ripetuti per caratterizzare le varie condizioni di lavoro (per esempio, movimentazione container nelle fasi di carico e scarico, manovre dei mezzi su gomma, attesa in stand-by) e le varie condizioni di contesto (per esempio, compresenza di più sorgenti sonore, contemporaneità di lavorazioni, passaggio automezzi nelle vicinanze), in relazione alla posizione nell'area TDT (piazzale, banchina, linea ferroviaria). Per completezza sono stati inoltre effettuati rilievi acustici di rumore ambientale. Nel complesso sono state effettuate 42 misure fonometriche, di durata variabile da 3 a 30 minuti, per un totale di circa 600 minuti di misura, comprendenti più eventi sonori di interesse (talvolta separati con evidenza talvolta sovrapposti per contemporaneità). Tali misure sono state accompagnate da 37 registrazioni audio e 30 registrazioni video degli eventi in svolgimento, oltre che da ampia documentazione fotografica. Le attività di post-elaborazione sono state svolte su quattro livelli di dettaglio: studio dell'evento globale, studio dei macro-eventi individuati all'interno dell'evento globale, studio degli eventi significativi individuati per ciascun macro-evento; studio dello spettro di emissione sonora relativo agli eventi significativi. Individuati e descritti i vari eventi sonori misurati, la ricerca è proseguita con la modellazione delle sorgenti sonore significative e degli scenari possibili nei quali tali sorgenti sono attive. Sono state, quindi, analizzate le emissioni sonore di automezzi analoghi ai precedenti ma con trazione elettrica e modellate le rispettive sorgenti sonore. Questo ha permesso di stimare i livelli sonori nell'ipotesi di usare il vettore elettrico per l'alimentazione dei sistemi di propulsione degli attuali mezzi di movimentazione realizzare e, conseguentemente, stimare la riduzione delle emissioni sonore rispetto allo stato attuale.

- I risultati della ricerca, con particolare riferimento alle attività descritte, si possono riassumere come segue:
- creazione di un database dei rilievi fonometrici degli eventi sonori registrati in una significativa area portuale destinata alla movimentazione merci;
- descrizione della evoluzione temporale e degli spettri in frequenza degli eventi sonori registrati e la raccolta delle registrazioni sonore e visive degli eventi;
- modellazione degli eventi più significativi tramite software dedicati all'analisi acustica della propagazione del rumore nell'ambiente esterno;
- modellazione di scenari possibili, tenuto conto anche del passaggio a diverso vettore energetico, al fine di quantificare la riduzione dell'inquinamento acustico prodotto dalla infrastruttura portuale.

Le metodologie adottate e le modellazioni esaminate potranno permettere di definire le migliori strategie comuni per i seguenti scopi:

- la riduzione dell'inquinamento acustico in ambito portuale, contribuendo così a garantire lo sviluppo sostenibile dei porti commerciali e delle piattaforme logistiche collegate assicurandone crescita e espansione;
- la riduzione dell'impatto sulla popolazione urbana circostante la cui sensibilità verso l'inquinamento ambientale ed in particolare acustico risulta ampiamente percepita e non gradita.

## **5. Prodotto T2.4.1: Questionario di indagine**

L'obiettivo generale di REPORT è quello di mitigare le emissioni di rumore dai porti nell'ambito della cooperazione transfrontaliera, al fine di rendere le infrastrutture portuali della area marittima più sostenibili. È stata effettuata una valutazione dei costi sociali sostenuti dai residenti a causa dell'inquinamento acustico nelle vicinanze dei porti. L'obiettivo dell'indagine era di intervistare faccia a faccia i residenti del comune per mezzo di questionari basati sul metodo della valutazione contingente. Per realizzare il questionario, sono state condotte interviste semi-strutturate con persone competenti nelle città portuali selezionate al fine di convalidare una prima versione del questionario. L'obiettivo di queste interviste e del focus group era quello di acquisire informazioni sull'inquinamento acustico nelle città portuali selezionate, cercando di evidenziare eventuali criticità e differenze nei diversi porti. I questionari sono stati poi somministrati da diversi fornitori di servizi in un setting faccia a faccia utilizzando il metodo delle quote.

## **6. Prodotto T2.4.2: Report sulla stima del costo sociale**

L'inquinamento acustico, cioè un livello di rumore elevato all'interno di una determinata zona, è ormai diventato un problema ambientale di importanza rilevante per molte autorità portuali in Europa e in Nord America. Nel presente lavoro utilizziamo un approccio di Contingent Valuation per studiare l'impatto del rumore nelle aree portuali di tre città, ovvero Bastia (Francia) e Genova e Livorno (Italia), sulla disponibilità a pagare della popolazione per ridurre tale inquinamento acustico. Questo studio analizza la disponibilità a pagare per un campione rappresentativo di residenti locali, ovvero 400 interviste in ogni città oggetto d'analisi. Agli intervistati è stato richiesto di ascoltare due campioni di rumore di 50 e 40 decibel rispettivamente, i quali rappresentano un livello di inquinamento standard per le attività portuali. Successivamente, essi hanno espresso la loro disponibilità a pagare per tale variazione del livello di rumore. L'analisi empirica ha dimostrato che la disponibilità a pagare dei residenti varia notevolmente a seconda della località e dei fattori socioeconomici individuali. Infine, alcune implicazioni normative, in termini di politica pubblica, sono state proposte.