Interreg
MARITTIMO-IT FR-MARITIME
LISTPORT

Progetto L.I.S.T. PORT

Limitazione Inquinamento Sonoro da Traffico nei Porti commerciali

Università di Pisa
anci toscana
GIP FIPAN

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

Progetto L.I.S.T. PORT

Limitazione Inquinamento Sonoro da Traffico nei Porti commerciali

Componente	**T2:** Studi finalizzati alla elaborazione dei modelli di simulazione trasporti/ambiente
Attività	**T2.7:** Elementi e pareri per costituzione linee guida
Prodotto	**T2.7.1:** Report dei parametri caratteristici per linee guida
Luogo e data :	Cagliari novembre 2021

SOGGETTO RESPONSABILE DELLA STESURA DEL DOCUMENTO		**Prof. Ing. Paolo Fadda** **Prof. Ing. Roberto Baccoli**	
RESPONSABILE SCIENTIFICO DEL PROGETTO		**Prof. Ing. Paolo Fadda**	
RESPONSABILE TECNICO DEL PROGETTO		**Ing. Federico Sollai**	
ESTENSORI DEL DOCUMENTO		**Ing. Federico Sollai** **Prof. Ing. Roberto Baccoli** **Ing. Luigi Serra** **Ing. Andrea Medda**	
Revisione n°	**00**	**Del**	**Data**

SOMMARIO

SEZIONE I. IL PROGETTO LIST-PORT 3

1. INTRODUZIONE ED OBIETTIVI DEL PROGETTO 3

2. SINTESI DEL PROGETTO LIST PORT 3

3. I MODELLI E LE MEDODOLOGIE UTILIZZATE PER L'ABBATTIMENTO DELLE EMISSIONI ACUSTICHE (DEFINIRE UN TITOLO) 7

3.1 L'analisi normativa 7

3.2 Le attività propedeutiche di analisi acustica e trasportistica 11

3.3 Gli scenari di progetto 37

3.4 Il sistema ITS LIST-PORT - Descrizione generale - 41

SEZIONE II. ELEMENTI PER LA STESURA DELLE LINEE GUIDA 53

1. ABSTRACT 53

2. METODOLOGIA PER L'INDAGINE ACUSTICA 54

2.1 L'INDIVIDUAZIONE DELL'APPROCCIO METODOLOGICO 54

Indice delle Figure 67

Indice delle Tabelle 69

SEZIONE I. IL PROGETTO LIST-PORT

1. INTRODUZIONE ED OBIETTIVI DEL PROGETTO

Il progetto LIST-PORT (Limitazione Inquinamento Sonoro da Traffico nei Porti commerciali) ha come finalità quella di migliorare il "Clima acustico" delle città portuali attraverso l'utilizzo di sistemi integrati *Intelligent Transportation System* di gestione del traffico.

Il progetto L.I.S.T. Port si inserisce all'interno di un gruppo di progetti tematici denominato «Cluster Acustico» finanziato nella seconda Call del Programma Italia-Francia Marittimo 2014-2020. I partner del progetto sono l'Università degli Studi di Cagliari (in qualità di Capofila), l'Associazione Nazionale Comuni Italiani Sez. Reg. Toscana, l'ANCI Liguria, l'Università di Pisa, le GIP Fipan - Groupement d'Intérêt Public Formation et Insertion Professionnelle Academie de Nice, la Chambre de Commerce et d'Industrie de Bastia et de la Haute-Corse.

L.I.S.T. Port, assieme ai progetti «Mon Acumen», «Rumble», «Decibel» e «Report», ha l'obiettivo di fornire i contenuti necessari per predisporre un insieme integrato di misure, piani e programmi finalizzati ad elaborare dei contributi tecnici per la stesura di linee guida e buone prassi per ridurre l'impatto dal rumore originato dalle attività logistiche portuali e dal traffico generato/attratto dei porti commerciali.

L'obiettivo generale di LIST-PORT è quello di valutare in che modo le applicazioni ITS sulla gestione del traffico possono incidere sulla riduzione delle pressioni sonore in ambito portuale ed urbano, valutando gli effetti che tali interventi determinano nei confronti dell'ambiente urbano, al fine di mantenere le emissioni sonore sempre al di sotto dei limiti consentiti dalle normative vigenti.

La sfida territoriale comune intrapresa nel progetto è stata quella di perseguire alcuni obiettivi previsti nella direttiva 2002/49/CE, tra i quali la condivisione di una politica integrata e sinergica di azioni volte alla riduzione dell'inquinamento acustico ed allo sviluppo di buone pratiche in grado di definire un approccio metodologico standardizzato per le diverse città portuali.

2. SINTESI DEL PROGETTO LIST PORT

Il rumore generato dalle attività portuali è prevalentemente imputabile a due componenti: le attività portuali interne allo scalo ed il traffico leggero e pesante attratto dal nodo e che transita verso le infrastrutture stradali di collegamento. In particolare le emissioni determinate da traffico stradale non si limitano a quelle emesse all'interno del porto ma, in relazione al traffico di adduzione, sono soprattutto quelle emesse in modo rilevante lungo la rete stradale di ingresso ed attraversamento della città verso gli accessi portuali, con elevati livelli di pressione sonora negli orari di punta di imbarco e sbarco delle navi.

La sfida del progetto List-Port è stata quella di individuare, attraverso un approccio comune e di sistema, interventi di mitigazione del rumore generato da tale intensità di traffico attraverso la realizzazione di un sistema integrato Intelligent Transportation

System (ITS) di gestione della mobilità, in grado di fornire automaticamente messaggi di info-mobilità capaci di modificare gli itinerari degli utenti, razionalizzando le correnti veicolari, attraverso l'invio di informazioni all'utente sulla base di elaborazioni effettuate con modelli di traffico. Questi modelli, in funzione dei flussi veicolari rilevati istantaneamente, valutano in tempo reale lo stato acustico e ambientale del sistema, e, in caso del superamento dei limiti di impatto, consentono di razionalizzare e riassegnare i flussi sulla rete.

Le tecnologie ITS sono strumenti fondamentali per la pianificazione della mobilità urbana e coadiuvano le pubbliche autorità (PA) nel conseguimento dei loro obiettivi strategici e nella gestione delle concrete operazioni di gestione del traffico, soprattutto nell'affrontare le dirette problematiche che il traffico determina sul benessere e sull'inquinamento ambientale. La gestione integrata e sistemica di questi strumenti permette una gestione coordinata delle reti stradali e facilita l'attuazione di regimi integrati di logistica urbana e di accesso regolamentato, soprattutto finalizzato alla riduzione della pressione dell'inquinamento ambientale ed acustico nei confronti delle città, in particolare per quelle dove la presenza dei nodi portuali accentuano l'attrazione di traffico sia leggero che commerciale. I risultati della sperimentazione del sistema ITS permettono di determinare il livello di riposta alla risoluzione del problema dell'inquinamento acustico, mettendo in luce anche i livelli di usabilità del sistema da parte degli operatori della PA addetti alla gestione, e degli utenti che viceversa lo utilizzano (utenti attratti e generati dal nodo portuale). L'architettura e gli aspetti tecnico scientifici del sistema LIST PORT sono stati ideati secondo un approccio con carattere sperimentale, scientifico e tecnologico aperto in grado di favorirne il successivo sviluppo e applicazione in altri contesti.

La fase propedeutica dell'applicazione è stata rivolta al monitoraggio dei livelli di traffico e di rumore nei porti e nelle principali arterie viarie; a cui è seguita la parte della modellizzazione delle reti stradali con il software SUMO (Simulation of Urban MObility), al fine di disporre di un modello virtuale in grado di simulare nuovi scenari di rete (cfr. 3.2.1). Inoltre è stata sviluppata una parte di caratterizzazione acustica con l'obiettivo di definire il clima acustico ambientale delle città pilota ed individuare, per le diverse fasce della giornata, quali fossero le zone ed i punti sensibili maggiormente sottoposti a livelli di pressione acustica sopra soglia (cfr. 3.2.2).

Valutate le criticità e confrontate con i livelli di pressione acustica nei punti sensibili della rete, sono state individuate soluzioni alternative di percorrenza e/o di accesso ai porti, da introdurre attraverso l'uso di sistemi ITS basati su piattaforme di info-mobilità (PMV o APP) in grado sia di fornire informazioni ai conducenti in tempo reale su itinerari alternativi sia di creare blocchi su alcuni assi stradali accompagnati dalla indicazione di presenza di situazioni di congestione. La piattaforma ITS del progetto LIST-PORT, in funzione dei dati di input di traffico rilevati in tempo reale provenienti dal sistema di monitoraggio del traffico veicolare e della elaborazione successiva attraverso il modello simulativo-previsionale trasporti-rumore, è in grado di gestire in forma automatica, integrata e simultanea i messaggi e le informazioni di info-mobilità da inviare agli utenti (automobilisti). I messaggi inoltrati, in funzione del sistema con il quale vengono inoltrati o processati sono di due tipologie:

- **di prossimità** attraverso pannelli a messaggio variabile (PMV) posti lungo gli itinerari che conducono al porto e quelli che invece consentono l'uscita dallo stesso verso le destinazioni finale;
- **di informazione-pianificazione del viaggio** attraverso APP da installare sui dispositivi mobili (smarphone, tablet, o altri device mobili collegati alla rete internet), che permettono, prima dell'inizio del viaggio o comunque prima dell'immissione del veicolo nella rete stradale cittadina che conduce al nodo portuale, di conoscere lo stato di congestione degli itinerari, il livello di emissione acustica con l'indicazione di eventuali criticità. Ciò al fine di pianificare in modo consapevole il viaggio e gli itinerari possibili,

Entrambi i sistemi hanno la funzione di far modificare gli itinerari degli utenti diretti alle porte di accesso al porto e di quelli in uscita da esso, oltre che generare informazioni ed definire itinerari alternativi per gli utenti in transito sulla viabilità del waterfront portuale con il fine di ridurre l'impatto acustico attraverso una ridistribuzione sulla rete stradale del traffico veicolare.

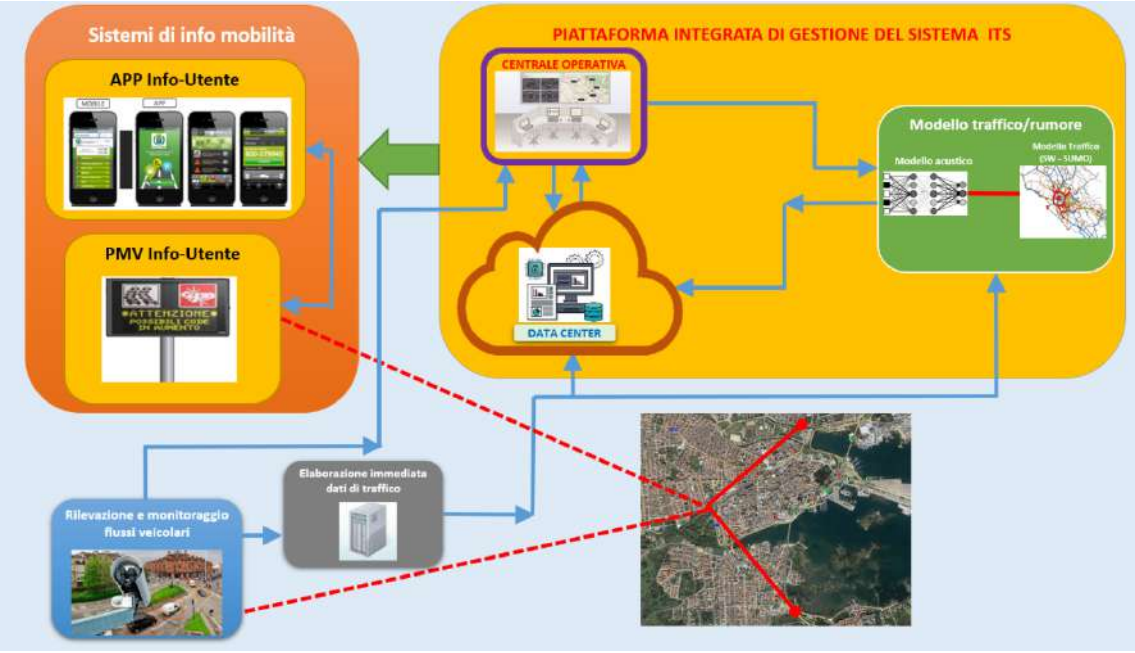


Figura I.1: L'architettura del sistema ITS LIST-PORT

Nella Figura I.1 è rappresentata l'architettura del sistema ITS LIST-PORT, in cui è schematizzata la dinamica del flusso di informazioni dell'interno del sistema.
Con l'azione di valutazione ex post, attraverso una campagna di monitoraggio simultaneo traffico/rumore, viene misurata l'entità della diminuzione di traffico e di pressione sonora a seguito dell'introduzione del sistema ITS LIST-PORT. I beneficiari finali saranno i residenti ed i visitatori nelle città portuali, mentre quelli di secondo livello saranno gli operatori portuali che potranno contare su una gestione ottimale degli accessi al porto e di una più efficace gestione del traffico interno. Il progetto, nello spirito dei programmi Interreg IT-FR, si fonda su un approccio transfrontaliero, dove i risultati ottenuti nelle sperimentazioni nelle quattro città pilota, verranno valutati e confrontati

rispetto alle diverse conformazioni urbane, orografiche e territoriali, per definire una standardizzazione metodologica e modellistica e la loro successiva replicabilità in altri contesti portuali. Il progetto è innovativo sia sui contenuti che sul metodo: sui contenuti, perché si affronta il tema della gestione del traffico mediante sistemi ITS integrati e connessi fra loro; sul metodo, in quanto tale problematica viene affrontata congiuntamente per l'ambito sia portuale che urbano

Con LIST-PORT si è cercato di perseguire alcuni degli obiettivi previsti nella direttiva 2002/49/CE, tra i quali: la condivisione di una politica integrata e sinergica di azioni volte alla riduzione dell'inquinamento acustico ed allo sviluppo di buone pratiche in grado di definire un approccio metodologico standardizzato per le diverse città portuali; la definizione di un percorso progettuale che si presti alla scalabilità e replicabilità in altri contesti urbani portuali. Il progetto ha inoltre permesso di perseguire gli obiettivi di: sviluppo di processi di informazione dell'opinione pubblica e del personale portuale sull'entità del rumore ambientale e sui relativi effetti; l'avvio di strategie comuni di lungo periodo finalizzate alla riduzione del numero di cittadini esposti ad elevati valori di rumorosità ambientale. In questo senso aver affrontato il problema attraverso un confronto transfrontaliero tra diverse città portuali europee, ha permesso di definire quella varietà di esperienze e risultati, che sono frutto di una valutazione dell'insieme di criticità appartenenti alle singole città pilota portuali. Con la sperimentazione del modello nelle 4 città portuali esaminate (Olbia, Bastia, Vado Ligure, Piombino), differenti per conformazione, traffico, viabilità, orografia, assetto urbano, è stato possibile definire un processo di generalizzazione che permetterà la replicabilità in altri contesti portuali. Punto di forza dell'approccio è stata la cooperazione transfrontaliera tra i partner di progetto ed il confronto tra diverse città portuali europee. Lo scambio di esperienze su ambiti e contesti urbani/territoriali diversi è stato analizzato anche in funzione della diversa declinazione della normativa europea nei diversi stati e regioni e delle differenti normative e regolamentazioni che si registrano a livello locale, provinciale e regionale, con limiti e classi di rumore spesso molto più articolati rispetto a quelli delle leggi nazionali. Inoltre la diversificazione dei partner ha permesso di definire quella varietà di esperienze e risultati, che consistono nella valutazione dell'insieme delle singole criticità locali volte alla definizione delle azioni di sistema necessarie per affrontare il problema dell'inquinamento acustico/atmosferico nella sua interezza. Affrontare il problema solo a livello locale non avrebbe garantito una sufficiente casistica, necessaria per poter standardizzare il processo e la metodologia di applicazione del modello; inoltre non avrebbe garantito, nella fase di sperimentazione, quella sufficiente gamma di informazioni necessarie per poter validare il modello e renderlo scalabile e replicabile in altre realtà.

Nei successivi paragrafi verranno illustrate brevemente le attività ed i risultati sviluppati all'interno del progetto.

3. I MODELLI E LE MEDODOLOGIE UTILIZZATE PER L'ABBATTIMENTO DELLE EMISSIONI ACUSTICHE

3.1 L'analisi normativa

L'analisi normativa del contesto territoriale all'interno del quale si colloca il progetto, è risultata fondamentale perché costituisce l'elemento rispetto al quale occorre confrontarsi per l'applicazione delle metodologie di analisi e di intervento per lo studio e l'elaborazione di misure per la mitigazione dell'impatto da rumore.
Le norme nazionali e comunitarie non forniscono adeguate direttive per la valutazione del rumore proveniente da porti: la Dir. 2002/49/CE non comprende la specifica valutazione del rumore portuale ma si limita ad assimilarlo al rumore industriale senza tenere conto che i porti possiedono particolari peculiarità, un elevato grado di complessità e varietà di attività, che ne fanno una importante ed articolata fonte di inquinamento acustico.
Il rumore portuale è diventato un aspetto critico che può contribuire alla limitazione dello sviluppo di porti commerciali scontrandosi con la difficolta dell'analisi determinata dalle diverse tipologie di sorgenti presenti. Nonostante siano diverse le esperienze e gli studi su questo argomento e la grande disponibilità di tecnologie finalizzate al contenimento acustico, le ridotte applicazioni sul campo non consentono una valutazione dell'efficacia del controllo del rumore e l'effettivo impatto che gli interventi possono determinare sul miglioramento del clima acustico nei porti e nelle città portuali.

3.1.1 Normativa europea

La principale normativa analizzata è la seguente:

- **La Direttiva 2002/49/CE** relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale, è lo strumento legislativo fondamentale per proteggere i cittadini dall'inquinamento causato dal trasporto stradale, ferroviario e del traffico aeroportuale, così come dai grandi impianti industriali. Il suo scopo è duplice: definire un approccio comune volto ad evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi del rumore ambientale e fornire una base per lo sviluppo di misure per ridurre il rumore generato dalle principali fonti. La direttiva quadro, in relazione al rumore ambientale, mira a ridurre l'esposizione a questo tipo di rumore armonizzando i descrittori acustici e i metodi di valutazione, raccogliendo informazioni sull'esposizione al rumore sotto forma di «mappe acustiche» e rendendo tali informazioni disponibili al pubblico. Sulla base di quanto precede, agli Stati membri è imposto di definire piani d'azione per affrontare i problemi relativi all'inquinamento acustico. La valutazione e l'attuazione della direttiva ha dimostrato come ci siano diverse aree in cui sono necessarie attività per ridurre l'impatto del rumore sulla salute dei cittadini all'interno dell'Unione europea, per raggiungere gli obiettivi della direttiva e per avvicinarsi più possibile ai valori consigliati dall'OMS.
  L'articolo 11 della direttiva sul rumore ambientale prevede una relazione di attuazione predisposta dalla Commissione europea ogni 5 anni. Oltre ad affrontare l'attuazione, la direttiva impone che tale relazione dovrebbe includere una revisione degli ambienti acustici, fissare gli obiettivi e le misure per la riduzione del rumore ambientale e valutare la necessità di ulteriori azioni comunitarie. Questa seconda relazione di attuazione fa il

punto della situazione dopo la pubblicazione della prima relazione e rappresenta il piano di azione.
L'articolo 6 della direttiva prevede, invece, che la Commissione stabilisca i metodi comuni per la determinazione dei valori di L_{den} e L_{night} secondo una specifica procedura (art. 13, par. 2 della direttiva) mediante la revisione dell'Allegato II. A questo scopo, nel 2008 la Commissione ha avviato lo sviluppo del quadro metodologico comune per la determinazione del rumore nell'ambito del progetto «Metodi comuni per la valutazione del rumore nell'UE» («CNOSSOS-EU») sotto la guida del Centro comune di ricerca (JRC), i cui risultati sono stati pubblicati in apposita relazione[1]. Il progetto si è focalizzato sulla standardizzazione delle procedure per quantificare l'esposizione al rumore in tutti gli Stati Membri allo scopo di produrre dati confrontabili, strumenti tecnici ed evidenze scientifiche rilevanti per il disegno di politiche efficaci contro il problema del rumore.
Con la Direttiva 2015/996 CE del 19 maggio 2015, la Commissione ha recepito gli esiti del progetto CNOSSOS-EU e ha proceduto alla modifica dell'originario Allegato II. La direttiva impone agli Stati membri di mettere in vigore le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative necessarie per conformarsi alla nuova direttiva entro il 31 dicembre 2018

3.1.2 Normativa nazionale italiana

A livello nazionale, in Italia, le disposizioni rilevanti in materia sono:

- Norme codicistiche, ovverosia l'art. 844 del Codice Civile, dedicato alle "immissioni", e l'art. 659 del Codice Penale, rubricato "disturbo delle occupazioni o del riposo delle persone";
- Norme pubblicistiche, ossia la Legge Quadro n. 447 del 1995 e suoi successivi decreti attuativi.

Tale normativa stabilisce i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico, ai sensi e per gli effetti dell'art. 117 della Costituzione. Dispone, inoltre, che i provvedimenti per la limitazione delle emissioni sonore sono di natura amministrativa, tecnica, costruttiva e gestionale. Tale legge è ormai quasi interamente attuata attraverso l'emanazione di specifici decreti per la regolamentazione della rumorosità prodotta da strade, ferrovie, aeroporti e industrie, mentre non esiste ancora oggi, seppure previsto, nessun atto normativo per la regolamentazione della rumorosità prodotta dalle attività portuali.
Il Decreto Legislativo 17 febbraio 2017, n. 42 (Disposizioni in materia di armonizzazione della normativa nazionale in materia di inquinamento acustico, a norma dell'articolo 19, comma 2, lettere a), b), c), d), e), f) e h) della legge 30 ottobre 2014, n. 161[2]), modifica il Decreto legislativo 194/2005[3] (decreto di attuazione della direttiva 2002/49/CE), che definisce le procedure e le competenze per l'elaborazione della mappatura acustica e dei piani di azione volti alla riduzione del rumore ambientale oltre che per assicurare

[1] Metodi comuni la valutazione del rumore in Europa (CNOSSOS-EU) — relazione di riferimento del JRC, EUR 25379 EN. Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee, 2012 — ISBN 978-92-79-25281-5 disponibile al seguente link: http://webaux.cedex.es/egra/EGRA-ingles/I-Documentacion/CNOSSOS-EU/2012_CNOSSOS_JRCfinal.pdf
[2] http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2014/11/10/14G00174/sg%20
[3] http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2005/10/13/05A09688/sg

l'informazione e la partecipazione del pubblico in merito al rumore ambientale ed ai relativi effetti nocivi.

Il decreto, in particolare, modifica gli articoli 2, 3, 4, 7, 8 e 11 del Decreto legislativo 194/2005 e fissa a decorrere del 31 dicembre 2018 la sostituzione dell'allegato 2 "Metodi di determinazione dei descrittori acustici" con i metodi comuni per la determinazione del rumore stabiliti, a norma della direttiva 2002/49/CE, dall'allegato alla direttiva 2015/996/CE.

Con l'articolo 8, in particolare, viene istituito presso il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare una Commissione per la tutela dall'inquinamento acustico composta da rappresentanti dei Ministeri dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, della salute, delle infrastrutture e dei trasporti e dello sviluppo economico.

Tale commissione svolge compiti di supporto tecnico-scientifico in materia di:

- Recepimento dei descrittori acustici previsti dalla direttiva 2002/49/CE;
- Definizione della tipologia e dei valori limite da comunicare alla Commissione europea ai sensi dell'articolo 5, comma 8 della direttiva 2002/49/CE;
- Coerenza dei valori di riferimento cui all'articolo 2 della legge 26 ottobre 1995, n. 447 rispetto alla direttiva 2002/49/CE;
- Modalità di introduzione dei valori limite che saranno stabiliti nell'ambito della normativa nazionale, al fine di un loro graduale utilizzo in relazione ai controlli e alla pianificazione acustica;
- Aggiornamento dei decreti attuativi della legge 26 ottobre 1995, n. 447, in merito ai metodi di determinazione dei descrittori acustici di cui all'allegato 2 della direttiva 2002/49/CE e alla definizione dei valori limite ambientali, anche secondo criteri di semplificazione.

3.1.3 Normativa nazionale francese

La normativa francese, per quanto riguarda la prevenzione e la repressione dell'inquinamento acustico, sostanzialmente affronta la problematica considerando la natura trasversale e multipolare dell'inquinamento acustico. La normativa di riferimento è:

- La Legge Quadro n. 92 – 1444 del 31 dicembre 1992, codificata negli articoli da L.571.1 a L.571.26 del Codice dell'Ambiente
- La Legge n. 2009 – 967 del 3 agosto 2009, detta Legge Grenelle

Anche nel caso della Legge Quadro n. 92 - 1444 l'obiettivo principale è quello di delineare un quadro legislativo completo sul problema del rumore, proponendo al contempo una base normativa coerente per il suo trattamento in tutti i settori in cui non sia già previsto da disposizioni specifiche.

Le disposizioni di questa legge intendono:

- Introdurre misure preventive per limitare le emissioni sonore;
- Regolare determinate attività rumorose;
- Stabilire nuovi standard per l'infrastruttura di trasporto terrestre;
- Introdurre misure per la protezione degli abitanti colpiti dal rumore del trasporto aereo finanziato da una tassa aeroportuale;

- Semplificare la registrazione dei reati e creare nuove categorie di agenti statali e comuni autorizzati a registrarli;
- Rafforzare le misure giudiziarie e amministrative per l'applicazione dei regolamenti.

Per tali motivi, nella pianificazione urbana limitano, ad esempio, la costruibilità attorno agli aeroporti e impongono un isolamento acustico rinforzato degli edifici in prossimità di aree interessate da un trasporto urbano rumoroso. La Legge Quadro ha dato vita a commissioni ambientali e organismi consultivi composti da produttori di macchinari rumorosi, cittadini e rappresentanti eletti e dispone l'adozione di documenti di pianificazione urbana volti a informare i cittadini sui fastidi a cui sono esposti scegliendo il loro luogo di residenza. Infine quantifica le limitazioni alle emissioni acustiche che apparecchiature e macchinari devono rispettare per essere immettibili sul mercato. Secondo l'articolo della L.571.10.1 del Codice dell'Ambiente, inoltre, le imprese ferroviarie che gestiscono treni sulla rete ferroviaria devono contribuire alla riduzione del rumore ambientale, adattando i dispositivi di laminazione e di frenatura del materiale rotabile.

In questo primo quadro normativo generale, si inserisce la Legge n. 2009 – 967 del 3 agosto 2009, detta Legge Grenelle, adottata in attuazione degli orientamenti e delle misure definiti dalla Commissione "Grenelle de l'Environnement". Si tratta di una Legge quadro di programmazione, che intende favorire e promuovere una politica a lungo termine in materia di ecologia, sviluppo e pianificazione sostenibile, anche con misure fiscali e tasse.

3.1.4 Applicazioni normative regionali: i casi di Liguria, Toscana, Sardegna, Corsica e Paca

Negli ultimi anni il tema dell'impatto da rumore sulle aree urbane determinato delle navi all'ormeggio sta emergendo come un aspetto rilevante e trasversale in relazione alle immissioni acustiche portuali in diverse realtà italiane.

L'anno precedente alla data di entrata in vigore della legge quadro 447 del 1995**, la Regione Liguria**, sulla scorta delle norme amministrative stabilite con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 1 marzo 1991 "Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno", aveva già emanato una propria legge (l.r. 31/1994 "Indirizzi per il contenimento e la riduzione dell'inquinamento acustico") mirata al contenimento delle emissioni sonore eccessive, riveduta e aggiornata dalla successiva l.r. n.12/1998 che detta norme per la tutela dell'ambiente esterno ed abitativo dall'inquinamento acustico.

Successivi approfondimenti del problema, condotti attraverso specifiche campagne di rilevamento dei livelli di rumore a cui è esposto il territorio ligure, hanno individuato nel traffico di veicoli la fonte principale di rumorosità ambientale.

La Regione Toscana, in materia di inquinamento acustico, ha adottato la l.r. n. 89 del 1 dicembre 1998, che detta norme finalizzate alla tutela dell'ambiente e della salute pubblica dall'inquinamento acustico prodotto dalle attività antropiche, disciplinandone l'esercizio al fine di contenere la rumorosità entro i limiti normativamente stabiliti.

Tra le principali competenze della Regione Toscana rientrano quelle di definire i criteri tecnici e gli indirizzi ai quali i comuni sono tenuti ad attenersi per la redazione dei Piani Comunali di classificazione Acustica (PCCA) e Piani Comunali di Risanamento Acustico (PCRA), identificare le priorità temporali degli interventi di bonifica acustica, definire le modalità di redazione della documentazione di valutazione d'impatto acustico e di clima acustico, le modalità di rilascio delle autorizzazioni comunali in deroga per attività temporanee e/o all'aperto. E' stato approvato con Decreto del Presidente della Giunta Regionale n. 2/R del 08.01.2014 il regolamento regionale di attuazione ai sensi dell'art. 2, comma 1, della LR n. 89/1998 "Norme in materia di inquinamento acustico".
Il regolamento, elaborato con il supporto tecnico di ARPAT, sostituisce, aggiornandole, le linee guida emanate con D.C.R. n. 77/2000. Di tali linee guida si conferma nella sostanza la struttura divisa in più parti, che sono diventate altrettanti capi del regolamento: classificazione acustica del territorio, coordinamento dei piani comunali di classificazione acustica con gli strumenti urbanistici comunali, modalità di rilascio delle autorizzazioni comunali. È stato aggiunto un ulteriore capo (Capo VI) sulle modalità per il controllo della documentazione di previsione di impatto acustico previste nell'ambito dei procedimenti di cui all'art. 12 della l.r. 89/98 e s.m.i.. (i criteri per la redazione della documentazione di impatto acustico e della relazione previsionale di clima acustico sono stati definiti con la DGR n. 857/2013).

3.1.5 Conclusioni

L’esame della normativa ai diversi livelli gerarchici ha messo in evidenza come la problematica relativa all’inquinamento acustico è in generale fortemente avvertita. Per tale motivo sono state adottati numerosi atti che però non affrontano la problematica relativa all’inquinamento acustico prodotto dai porti, assimilandolo al rumore industriale. Questo aspetto mette in luce come ci sia la necessità di elaborare una normativa specifica che tenga conto della complessità del fenomeno del rumore portuale a cui gli Stati Membri devono far fronte, sia attraverso una normativa specifica di livello Europeo a cui far seguire una sua declinazione a livello dei singoli stati. Tale esigenza nasce ed emerge in maniera ancora più forte viste le pressioni dell’opinione pubblica che sempre più richiede misure che attenuino il rumore dei porti per garantire uno sviluppo equilibrato dell’ambiente urbano ed il conseguente miglioramento della qualità della vita delle città portuali. Il progetto LIST PORT con gli altri progetti del Cluster acustico ha l’obiettivo di fornire un quadro conoscitivo aggiornato e dettagliato che permetta di fornire quegli elementi utili per l’aggiornamento delle normative di settore che tengano in considerazione il rumore specifico prodotto dal porto e dalle sua attività.

3.2 Le attività propedeutiche di analisi acustica e trasportistica

Le fasi propedeutiche del progetto LIST-PORT hanno riguardato l’analisi acustica e trasportistica delle città portuali pilota individuate nel progetto (Olbia, Bastai, Vado Ligure e Piombino). L’analisi è stata svolta attraverso il monitoraggio dei livelli di traffico e di rumore nelle principali arterie viarie di accesso ed uscita dai porti: sono state modellizzate le reti stradali, al fine di definire un modello virtuale in grado di ricostruire

l'attuale scenario e valutare le criticità presenti, sia in termini trasportistici che acustici. Inoltre il modello ha anche lo scopo di simulare nuovi scenari di assetto della rete in grado di ridurre il carico veicolare e quindi l'impatto da rumore da essi generato. Valutate le criticità su diversi archi temporali (di morbida invernale, e di punta estivo) e confrontate con i livelli di capacità sonora già caratterizzati, vengono individuati itinerari e/o soluzioni alternative per flussi di traffico in attraversamento sul waterfornt portuale e/o di quelli in accesso ed uscita ai porti, da veicolare agli utenti attraverso l'uso di sistemi ITS basati su piattaforme di info-mobilità (Pannelli a Messaggio Variabile e APP per dispositivi smart mobili). Tali dispositivi sono capaci in tempo reale di fornire informazioni ai conducenti. L'azione di valutazione ex post è stata concepita per valutare gli effetti sul traffico e sulla riduzione di pressione sonora determinata dall'introduzione dei sistemi ITS, con l'obiettivo di individuare eventuali correttivi necessari per migliorare il sistema. I beneficiari finali del sistema sono i residenti ed i visitatori nelle città portuali, mentre quelli di secondo livello sono gli operatori portuali che potranno contare su una gestione ottimale degli accessi al porto e di una più efficace gestione del traffico interno.
Il sistema sperimentale integrato sviluppato in LIST-PORT ha lo scopo di garantire l'acquisizione in continuo dei dati relativi ai flussi di traffico, la trasmissione a una centrale operativa e la successiva comunicazione delle indicazioni specifiche per gli utenti ai pannelli a messaggio variabile e alle APP sui terminali mobili per la pianificazione del percorso.
La valutazione delle criticità riguarda l'impatto che il traffico generato dai porti, sia in ingresso che in uscita, determina sul clima acustico delle città. Gli studi sulla parte del traffico hanno riguardato la realizzazione del modello di simulazione finalizzato a descrivere lo stato attuale del sistema della mobilità nella rete stradale del waterfront delle città pilota sia nel periodo di punta che in quello di morbida con il fine di individuarne le criticità.
Gli studi sulla parte acustica sono stati invece finalizzati a definire, sulla base di rilevazioni sperimentali (rilievi fonometrici e di traffico in maniera simultanea), il clima acustico delle waterfornt delle città pilota, al fine di definire le mappe isoacustiche per evidenziare quali parti della città fossero maggiormente sottoposte ad impatto acustico. Tali studi sono propedeutici alla individuazione di misure di mitigazione del rumore, da effettuare attraverso la razionalizzazione del traffico, individuando percorsi alternativi in grado di decongestionare la viabilità maggiormente trafficata.
Gli itinerari dovranno essere diffusi agli utenti stradali attraverso il sistema ITS List Port (PMV e APP)

3.2.1 Le caratterizzazioni trasportistiche

Lo studio di caratterizzazione trasportistica è finalizzato ad individuare le criticità del sistema stradale di accesso al porto e del waterfront delle città portuali pilota di Olbia, Piombino, Vado Ligure e Bastia.
L'Area di indagine, indicata in Figura I.2, ricade in 4 città portuali che si affacciano nel Mar Mediterraneo: Olbia, Bastia, Vado Ligure e Piombino. Lo studio di caratterizzazione trasportistica ha riguardato le seguenti fasi:

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;
3. l'individuazione delle criticità sulla base dei risultati dei modelli.

Figura I.2: individuazione delle città portuali pilota del progetto LIST-PORT

3.2.1.1 Analisi sui flussi di mobilità attuali

Per poter aggiornare la matrice O/D, calibrare il modello e conoscere le entità di traffico della rete viaria sono stati effettuati rilievi di traffico in diverse sezioni e intersezioni stradali che risultavano più significative e funzionali alla costruzione del modello di traffico (cfr. Figura I.3, Figura I.4, Figura I.5 e Figura I.6). Per le città di Olbia, Bastia, Vado Ligure e Piombino sono state effettuate delle campagne di indagini di traffico, in intervalli di tempo assegnati, sia nel periodo di morbida che nel periodo di punta:

Le apparecchiature utilizzate per i rilievi, utilizzate nelle sezioni e intersezioni stradali, sono brevemente descritte di seguito:

1. **Apparecchiatura Radar.** È uno strumento portatile utilizzato per effettuare campagne di monitoraggio e classificazione del traffico veicolare. Il sistema è costituito da un sensore radar doppler capace di individuare i veicoli in transito sulle due corsie anche in direzioni di marcia opposte e individuarne la loro lunghezza, la data e l'ora del passaggio. La calibrazione del sistema può essere fatta sia in maniera semi-automatica che parametrizzata, attraverso un apposito software (per PC o per Palmari). Le sue dimensioni contenute e la possibilità di posizionarlo a lato strada su qualsiasi supporto

già esistente (pali della segnaletica stradale, illuminazione, ecc.) lo rendono un prodotto di facile installazione, senza intralcio alla circolazione e senza rischi per l'incolumità del personale addetto al monitoraggio del traffico;

2. **Telecamera per il rilievo dei flussi di traffico.** È un sistema di acquisizione video e decodifica delle immagini per il conteggio e la classificazione del flusso veicolare. Il sistema è costituito dalla Video Collection Unit (VCU), una telecamera portatile per l'acquisizione del video collegata ad un Control Box il quale gestisce la telecamera ed adempie a tutte le funzioni di registrazione e memorizzazione del video, di alimentazione del sistema e di player video. La telecamera è posta su un palo retrattile coassiale autoportante che, per garantirne la stabilità, si fissa in adiacenza ad un palo preesistente. Successivamente alla raccolta del video, mediante un apposito software, si procede con la decodifica delle immagini volta ad eseguire il conteggio, la classificazione veicolare e, nel caso di incroci o rotatorie, delle manovre di svolta. Il sistema esegue l'identificazione del veicolo o pedone all'interno della scena ripresa, eseguendo la classificazione dei soggetti (Pedoni, Bici/Moto, Auto, Veicoli Commerciali Leggeri e Mezzi Pesanti) e tracciando lo spostamento.

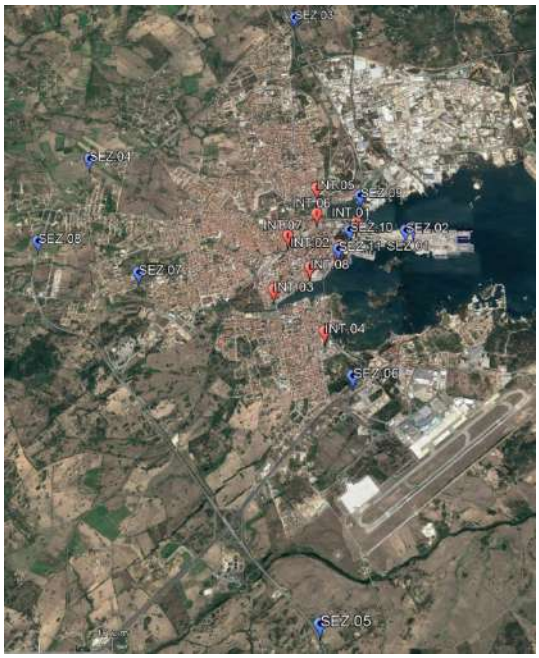


Figura I.3 Sezioni di rilievo Olbia

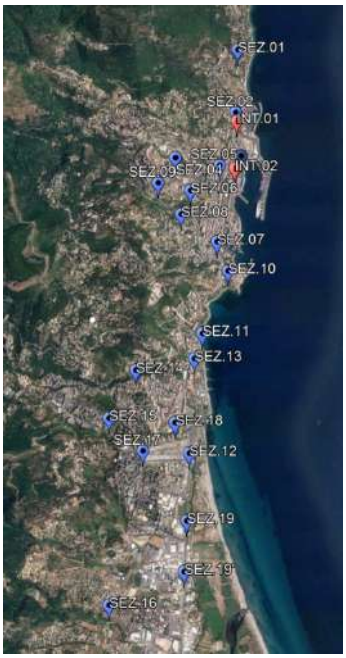


Figura I.4 Sezioni di rilievo Bastia

Figura I.5 Sezioni di rilievo Piombino

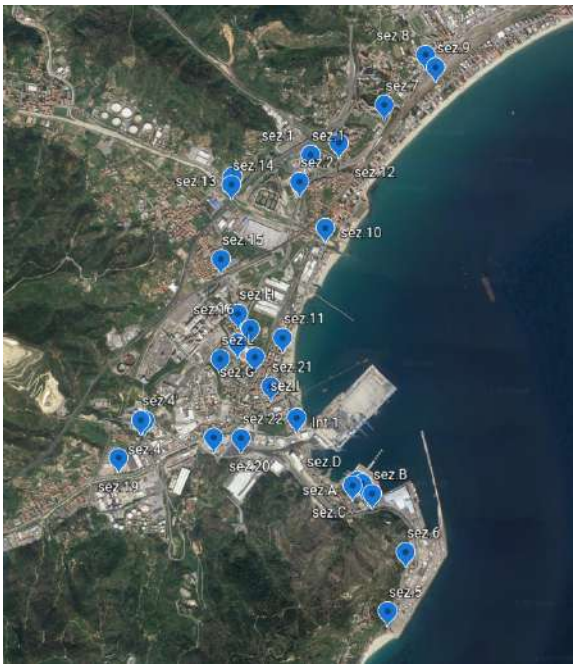


Figura I.6 Sezioni di rilievo Vado Ligure

Di seguito vengono esemplificativamente riportati i flussi di traffico rilevati nel periodo invernale ed in quello estivo.

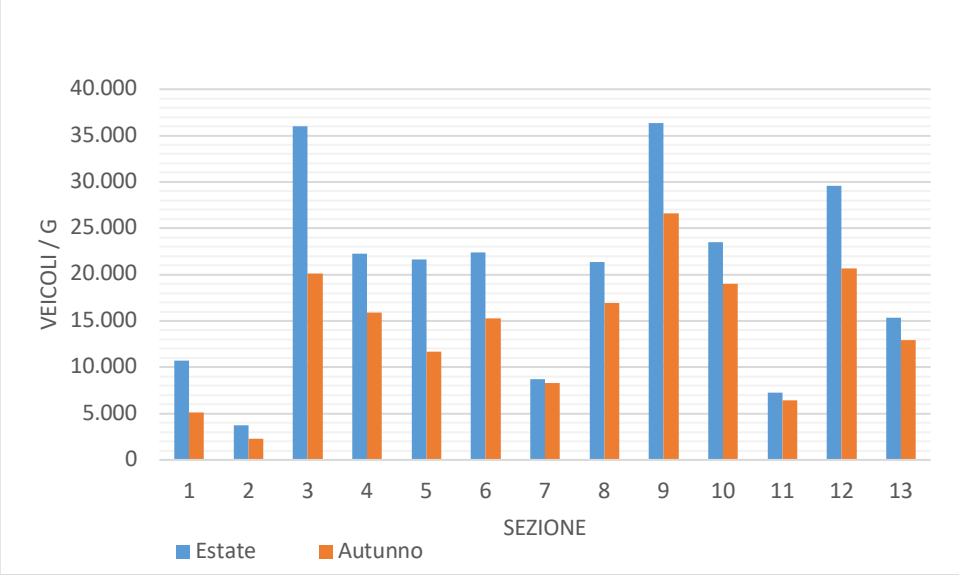


Figura I.7: confronto flussi di traffico estate autunno 2019 Olbia

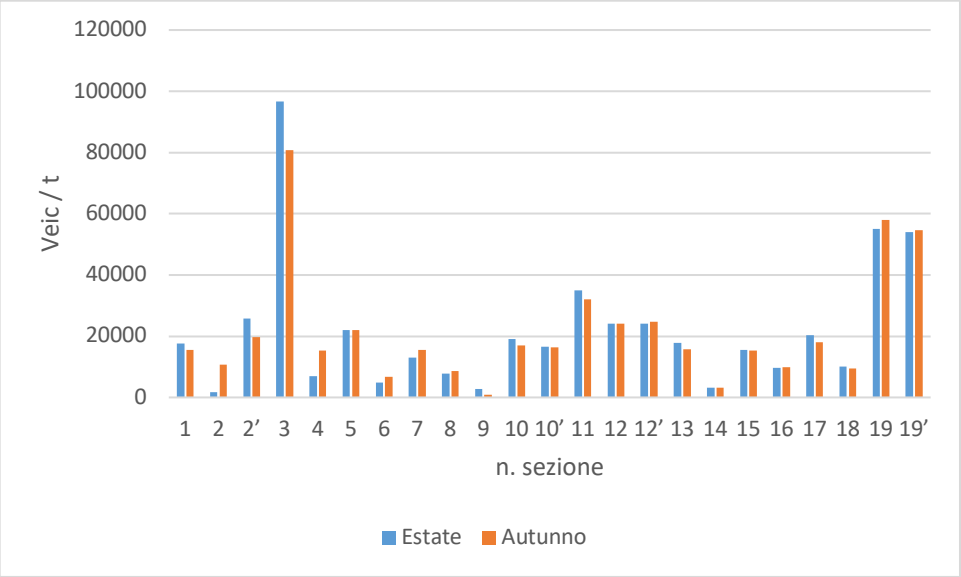


Figura I.8: confronto flussi di traffico estate autunno 2019 Bastia

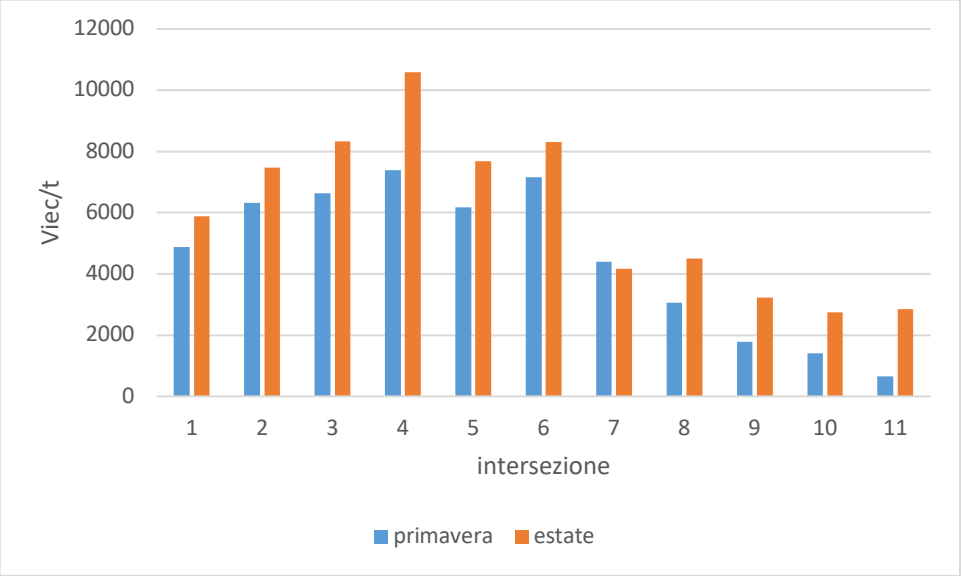


Figura I.9: confronto flussi di traffico estate autunno 2019 Piombino

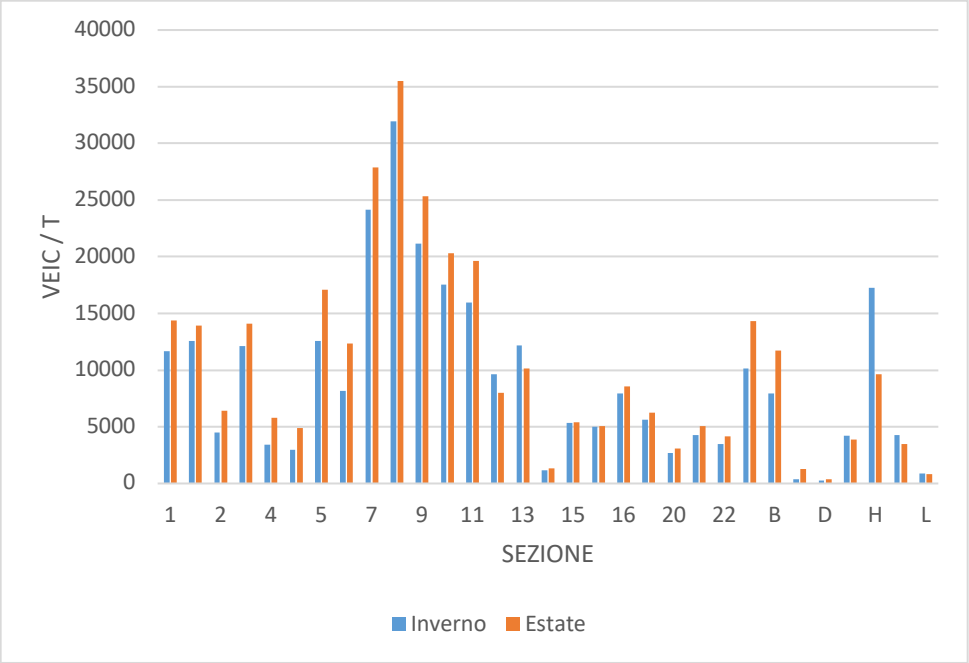


Figura I.10: confronto flussi di traffico estate autunno 2019 Vado Ligure

3.2.1.2 La realizzazione del modello di simulazione del traffico

Il modello di traffico delle città portuali pilota è stato sviluppato con il software open source SUMO di simulazione multi modale del traffico. Tale software consente di riprodurre una rete stradale perfettamente corrispondente alla realtà dal punto di vista geometrico ed in grado di simulare gli spostamenti dei differenti tipi di veicoli che transitano su di essa. La simulazione avviene attraverso l'immissione, come dati di input, della matrice origine-destinazione, che successivamente viene assegnata alla rete tramite un algoritmo di assegnazione. Ad ogni step di simulazione lo stato dei veicoli viene aggiornato in maniera dipendente dalle informazioni della rete (offerta) e dall'interazione con gli altri veicoli presenti nelle immediate vicinanze. Questa procedura permette a SUMO di simulare e riprodurre gli scenari di traffico attuali di una particolare area di studio al fine di ottenere degli indicatori trasportistici, quali densità, capacità delle strade, lunghezza delle code, emissioni acustiche e di inquinanti, e successivamente di poter valutare gli stessi parametri nei confronti degli scenari di riassetto e razionalizzazione della viabilità per mitigare le situazioni di criticità e/o congestione di alcuni archi delle rete stradale esaminata.

Per definire la modellazione dell'area di studio delle città pilota è stata preliminarmente definita la zonizzazione a cui è seguita l'estrazione degli archi della rete stradale più rilevanti per procedere alla successiva elaborazione delle matrici Origine-Destinazione basata esclusivamente sui dati della matrice O/D Istat 2011. L'implementazione del grafo di rete (cfr. ….) è avvenuta attraverso la caratterizzazione con le effettive velocità su ogni singolo arco stradale, comprensiva della ricostruzione di tutte le manovre di svolta e la modellizzazione delle fasi per le intersezioni semaforizzate.

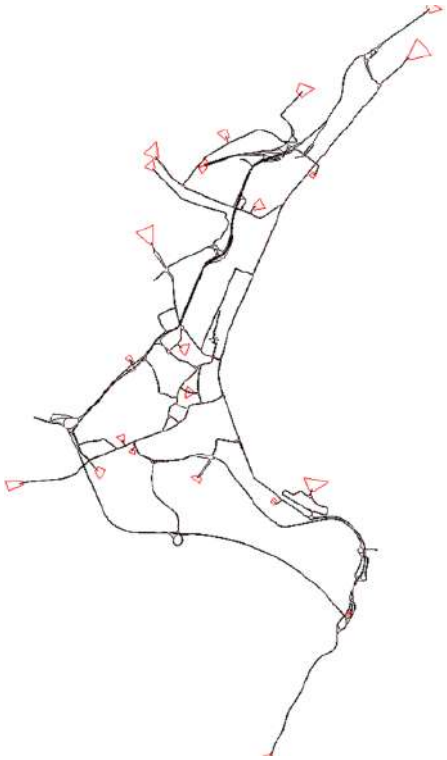


Figura I.11: Schematizzazione del grafo della Rete stradale di Vado Ligure

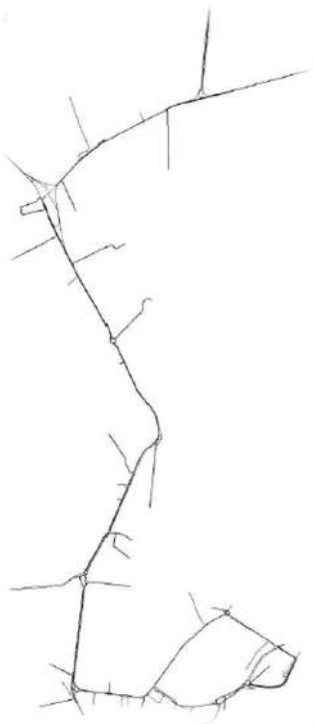


Figura I.12: Schematizzazione del grafo della Rete stradale di Piombino

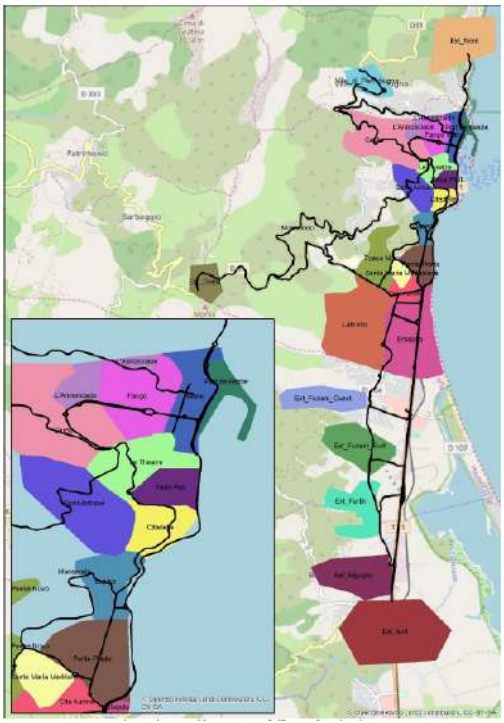


Figura I.13: La zonizzazione di Bastia

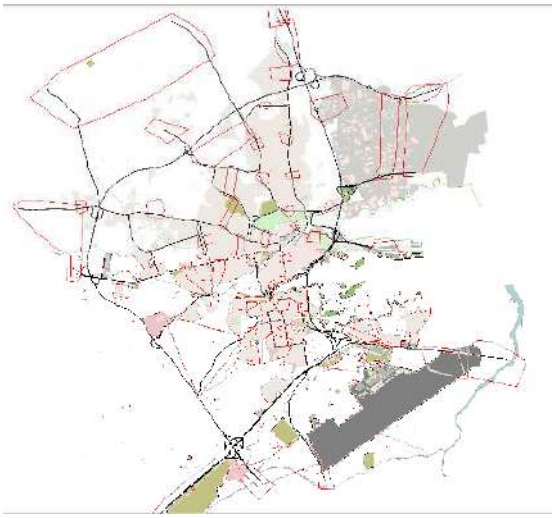


Figura I.14: Il modello caricato e la zonizzazione di Olbia

Per ogni città sono stati sviluppati i modelli di traffico negli intervalli temporali ritenuti più significativi, quelli nei quali si verificano i maggiori carichi sulla rete.

Terminata la costruzione, una matrice O/D dei dati ISTAT è stata successivamente calibrata utilizzando i flussi rilevati sulla rete. Per la correzione della matrice O/D è stato utilizzato il pacchetto Maruoter per l'assegnazione all'equilibrio stocastico.

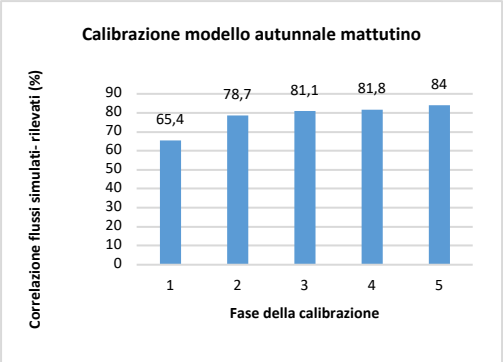


Figura I.15: Correzione iniziale della matrice O/D relativo al periodo autunnale mattutino (OLBIA)

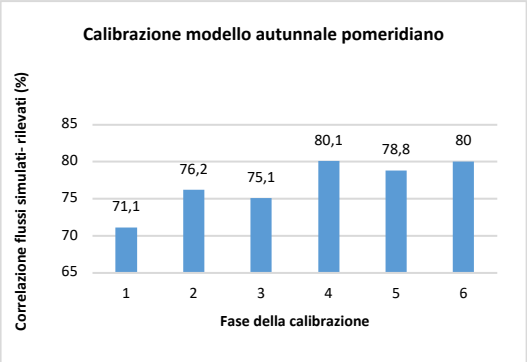


Figura I.16: Correzione iniziale della matrice O/D relativo al periodo estivo mattutino (BASTIA)

Come output Marouter fornisce il file che contiene i flussi, i tempi di percorrenza medi e il grado di saturazione di ogni arco del grafo, oltre a generare un file che riporta tutti gli itinerari utilizzati per connettere le singole coppie O/D.
Una volta corretta la matrice O/ D, e definiti i flussi sui singoli archi della rete ottenuti mediante l'assegnazione di equilibrio è stato possibile calcolare il livello di servizio di ogni arco viario, analizzandone i ritardi per le singole correnti veicolari (cfr. Figura I.17 e Figura I.18).

Figura I.17: Simulazione dinamica con la presenza di code (OLBIA)

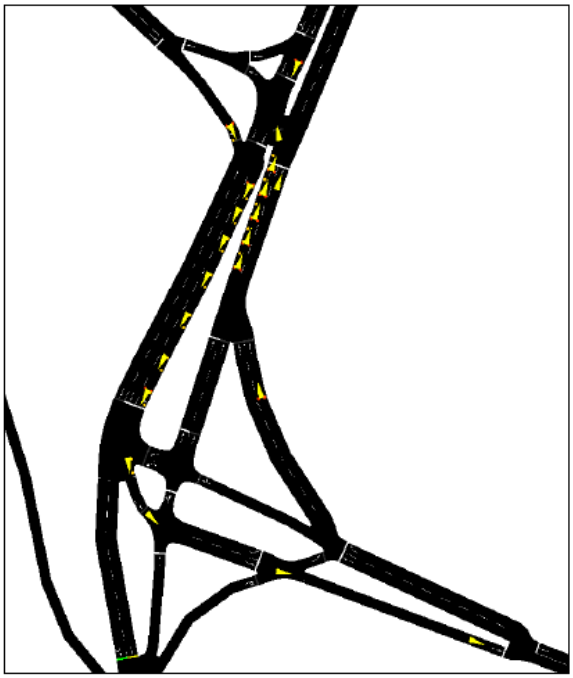


Figura I.18: Simulazione dinamica con la presenza di code (Piombino)

3.2.1.3 *I risultati dei modelli e l'individuazione delle criticità*

Per l'analisi dello stato della rete carica, e per individuare le criticità, sono stati esaminati i risultati ottenuti dall'assegnazione di equilibrio, effettuata selezionando quella parte della viabilità che presentava un valore di velocità media oraria inferiore ai 10 km/h, considerata come quella soglia sotto la quale si manifestano situazioni di congestione. Nelle successive figure vengono riportati lo stato della rete ed alcune delle intersezioni, delle diverse città, che hanno mostrato fenomeni di congestione, e sulle quali occorrerà attivare soluzioni di riorganizzazione della viabilità da veicolare agli utenti della strada per limitare l'impatto da rumore generato dal traffico.

Figura I.19: La distribuzione dei flussi di traffico (Olbia)

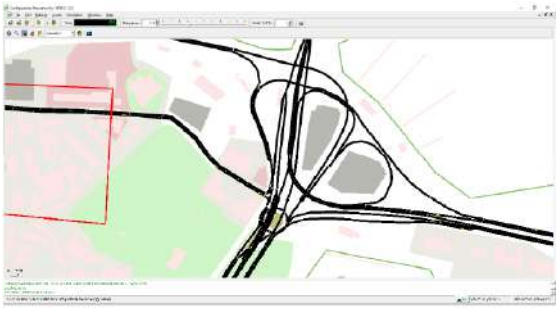


Figura I.20: simulazione dinamica del nodo di accesso al porto di Olbia

Figura I.21: La distribuzione dei flussi di traffico (Bastia)

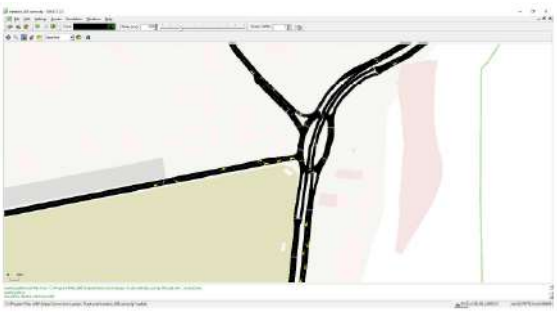


Figura I.22: simulazione dinamica (Bastia)

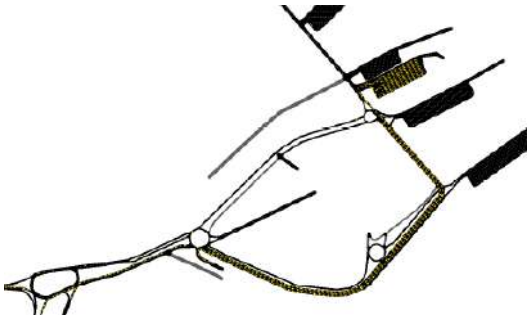


Figura I.23: simulazione Criticità del molo 5 (Piombino)

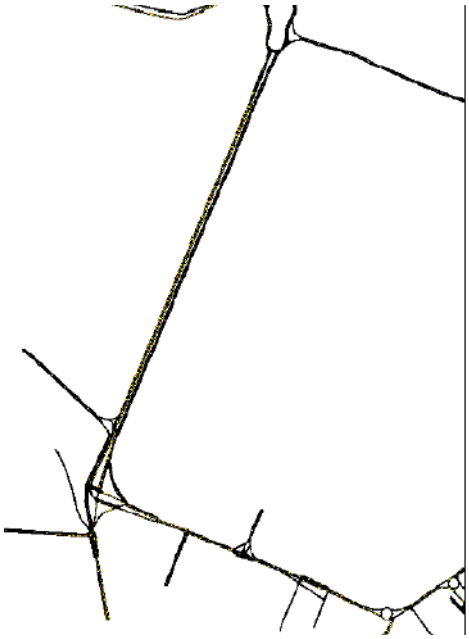


Figura I.24: simulazione code che risalgono fino a viale Unità d'Italia (Piombino)

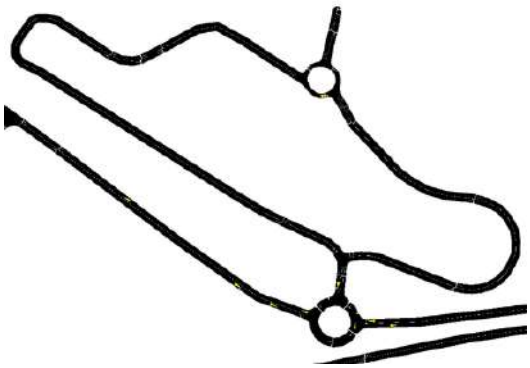


Figura I.25: simulazione Criticità Porto di Vado Ligure

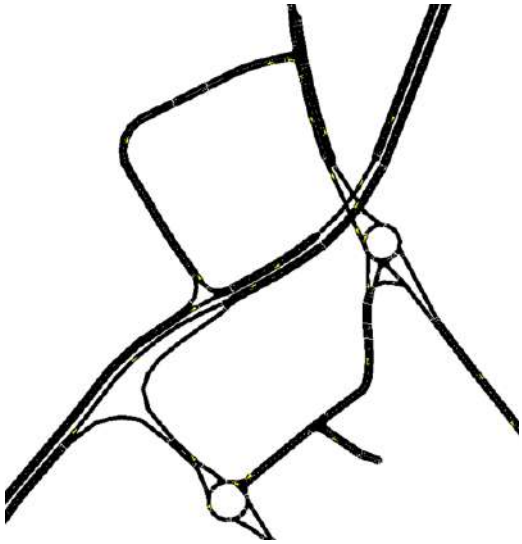


Figura I.26: simulazione Criticità Intersezione semaforizzata tra via Caduti per la Libertà con Aurelia (Vado Ligure)

Nella sottostante tabella vengono sintetizzate le criticità emerse per ogni singola città.

CITTA'	CRITICITA'
Olbia	Si presenta un fenomeno di congestione: durante il periodo estivo mattutino sul 16% degli archi e in quello pomeridiano sul 9,4% degli archi, mentre durante il periodo autunnale mattutino l'8,5% degli archi e in quello pomeridiano il 9,9% degli archi risultano congestionati. Risultano particolarmente congestionati: il ramo di via S. Simplicio fra via Brigata Sassari e via Vittorio Veneto e la rotatoria tra via Roma, via Ungheria e via Tasso.
Bastia	Fenomeno di congestione: durante il periodo estivo mattutino sul 15% degli archi e

	in quello pomeridiano sul 17% degli archi, mentre durante il periodo autunnale mattutino il 16 % degli archi e in quello pomeridiano il 22% degli archi risultano congestionati. Lo sono particolarmente: Auguste Gaudin Boulevard, il Tunnel RT11, e la rotatoria ubicata tra Avenue Pierre Guidicelli, Avenue Pascal Lota e Territoriale T11.
Vado Ligure	Punto potenzialmente critico potrebbe essere la rotatoria posta su corso Svizzera a intersezione con via Caravaggio
Piombino	Nel periodo estivo la rete nel suo complesso risulta molto trafficata: punti critici possono essere la rotatoria tra via Cavallotti, via Pisacane e la strada Comunale Portovecchio, e l'intersezione 6 tra viale della Resistenza e viale Unità d'Italia

3.2.2 Le caratterizzazioni acustiche

Le attività di caratterizzazione acustica sono volte ad indagare la correlazione tra il clima acustico nelle diverse città pilota ed i flussi di traffico indotti dalla attività portuali. Preliminarmente alle campagne di misura sono stati condotti rilievi diretti e approfondimenti documentali finalizzati alla formazione di un quadro conoscitivo sufficientemente esaustivo dello stato attuale delle città pilota dal punto di vista acustico e ambientale, a supporto delle indagini in ambito trasportistico e socio-economico.
Nella presente attività è stata acquisita la documentazione tecnica ed analizzata la normativa applicabile (sia sul lato francese che su quello italiano), sono stati acquisiti i dati cartografici nonché gli estratti di strumenti di pianificazione vigenti, ed in generale sono stati valutati tutti gli elementi che concorrono alla determinazione degli scenari di clima acustico e di traffico. Queste analisi hanno permesso di sviluppare una preventiva individuazione di eventuali criticità per la successiva esecuzione del piano dei rilievi e per la costruzione del modello acustico previsionale.

3.2.2.1 Analisi della pianificazione delle città pilota

Gli strumenti di pianificazione urbanistica tracciano le linee di sviluppo futuro dei centri abitati. Nel caso delle città costiere, in presenza di infrastrutture portuali, si verifica la coesistenza tra questi strumenti e la pianificazione portuale di competenza degli enti gestori degli scali. A livello territoriale, inoltre, è operante la programmazione infrastrutturale e trasportistica che inquadra i nodi portuali all'interno di una rete più ampia e complessa.

Dall'analisi generale degli strumenti di pianificazione si riscontra di norma la sovrapposizione di più livelli di pianificazione e spesso le aree portuali e retroportuali, così vitali per sistema economico, costituiscono un sistema chiuso, a se stante, di margine, nonostante le attività che vi si svolgono abbiano importanti ripercussioni sull'ambiente urbano. In questo contesto la pianificazione portuale conserva ancora un forte carattere di autonomia rispetto ai piani urbanistici: le esigenze dinamiche e competitive della gestione degli scali marittimi si contrappongono alla tendenza ad integrarli all'interno della città recuperandone e valorizzandone ampie aree.
Di seguito si riportano alcuni estratti della pianificazione vigente riguardante le aree portuali e retroportuali della città pilota esaminate.

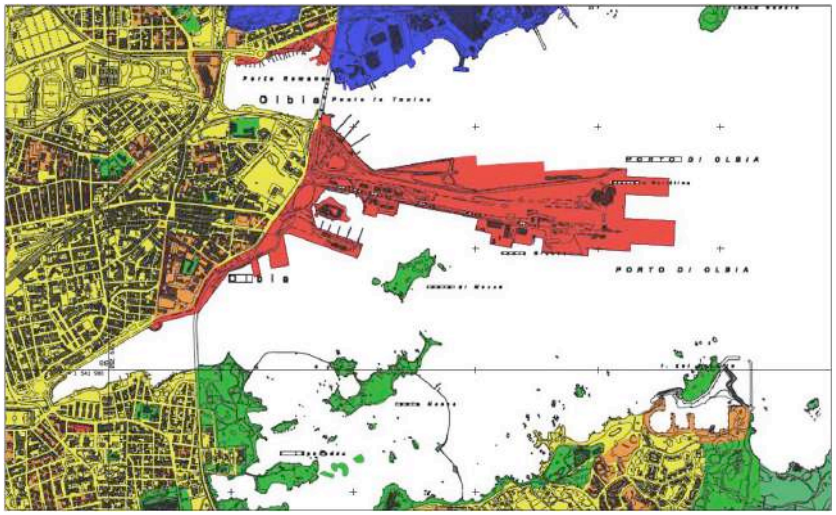


Figura I.27: estratto del Piano di Classificazione Acustica della città di Olbia

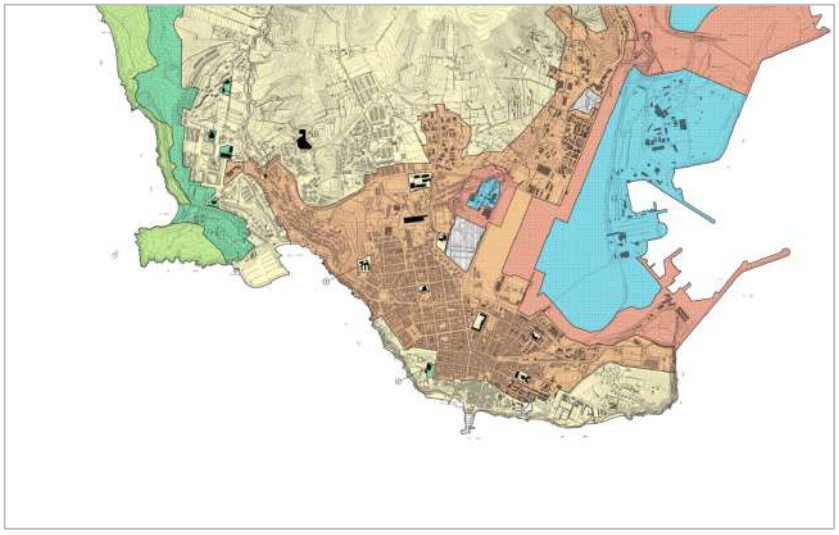


Figura I.28: estratto del Piano di Classificazione Acustica della città di Piombino

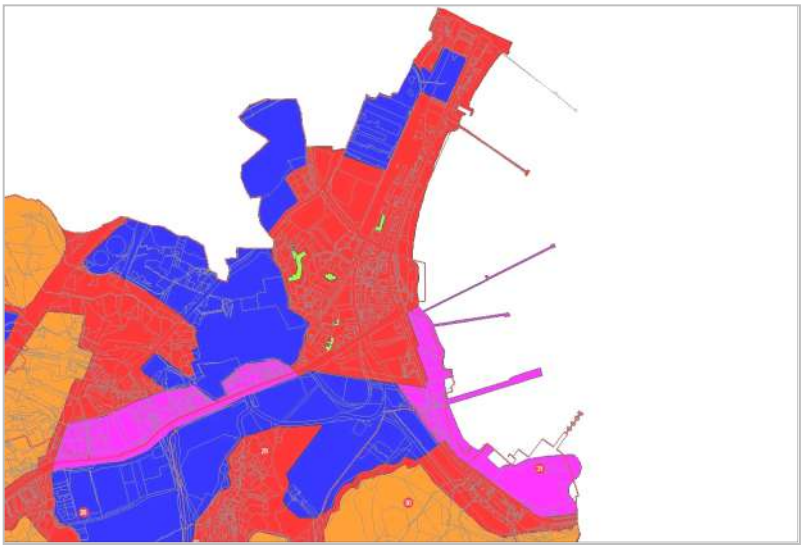


Figura I.29: Piano di Classificazione Acustica del Comune di Vado Ligure- zonizzazione acustica della porzione di territorio interessato dalle analisi

3.2.2.2 I rilievi acustici

Nelle città pilota del progetto LIST-PORT sono stati effettuati i rilievi del rumore ambientale ex ante, nel periodo di punta estivo e di morbida invernale, finalizzati alla creazione del database di riferimento per l'analisi del clima acustico del fronte portuale, per l'elaborazione della mappatura acustica e per l'implementazione dei modelli previsionali di rumore da traffico veicolare.

Il potenziale disturbo dovuto al rumore di un'infrastruttura di trasporto terrestre viene convenzionalmente caratterizzato tramite Leq(A)[4] (livello sonoro equivalente ponderato A) espresso attraverso indicatori riferiti ai periodi diurno e notturno codificati dalla normativa europea e recepiti dalle normative nazionali.

Per le città pilota ricadenti nel territorio italiano il riferimento legislativo per l'esecuzione delle misure è il D.M. 16/03/1998 "Tecniche di rilevamento del rumore ambientale", mentre per la città di Bastia, in territorio francese, nel relativo studio vengono citati le norme NFS 31-085 e NFS 31-110 oltre agli articoli L571-9, R571-44 e R571-52 del Codice dell'Ambiente.

Nell'impossibilità di effettuare simultaneamente al conteggio dei veicoli in transito rilevazioni puntuali per tutta l'estensione dei fronti portuali e degli ambiti urbani interessati dal traffico e per periodi sufficientemente rappresentativi, sono stati indagati alcuni punti peculiari quali, ad esempio, importanti assi viari, intersezioni, infrastrutture o ricettori sensibili, strategicamente individuati sul territorio, per poi estendere alle aree di interesse la stima dei livelli sonori tramite modelli fisici di propagazione.

posizione microfono A

posizione microfono B

posizione microfono C

Figura I.30: postazioni di rilevamento acustico Comune di Olbia

[4] Definizione: LAeq (livello sonoro conitnuo equivalente ponderato A) è la dose di rumore percepita (energia acustica cumulativa) durante un dato periodo in una data posizione. In pratica è il valore del livello di pressione sonora ponderata "A" di un suono costante che, nel corso di un periodo specificato T, ha la medesima pressione quadratica media di un suono considerato, il cui livello varia in funzione del tempo. È espresso in decibel ponderati A (dB) (dB (A)). La ponderazione A è un filtro di ponderazione che tiene conto del fatto che l'orecchio umano non è sensibile alle diverse frequenze (bassi - medi - alti) allo stesso modo.

Figura I.31: postazioni di misura del livello di pressione sonora del rumore nella Città di Olbia

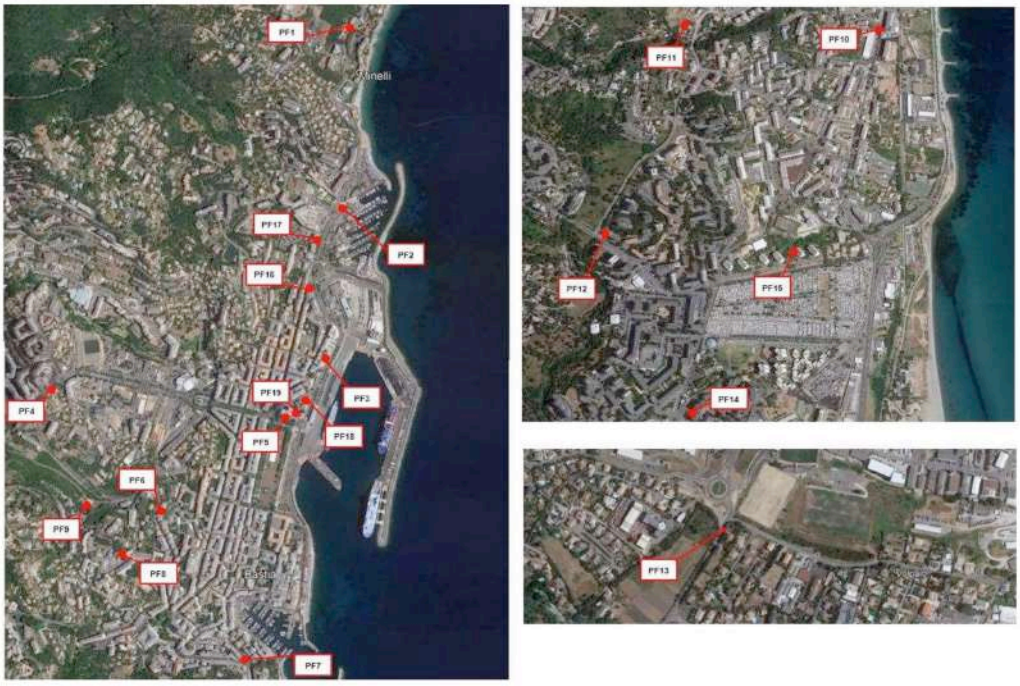


Figura I.32: postazioni di rilevamento acustico Comune di Bastia

Figura I.33: postazioni di rilevamento acustico nel Comune di Piombino - periodo di punta

Figura I.34: posizioni di rilevamento del traffico veicolare nel Comune di Vado ligure

Nella campagna di misura e nelle successive rielaborazioni si è cercato di cogliere le dinamiche dei movimenti veicolari connessi con la presenza delle aree portuali e l'andamento dei livelli di pressione sonora nelle aree urbane adiacenti.
L'indagine ha certamente consentito di inquadrare dal punto di vista acustico e trasportistico la realtà delle città portuali pilota pur facendo emergere la complessità dei contesti urbani indagati.
I dati acquisiti sono stati destinati alla elaborazione di modelli funzionali alla messa in atto delle azioni previste dal progetto. E' possibile tuttavia dare uno sguardo unitario alle esperienze di monitoraggio fin qui svolte, confrontare e analizzare i dati, comparare le metodologie adottate nelle diverse città e trarre eventualmente le prime indicazioni.
Dalla tabella di riepilogo dei periodi di rilievo si evince la corrispondenza temporale tra le attività svolte, fatta eccezione per il periodo di morbida a Olbia (marzo 2019), il quale, secondo il trend della città è certamente inquadrabile come bassa stagione.

	Periodo di morbida ex ante		**Periodo di punta ex ante**	
	dal	al	dal	al
Bastia	10/10/2019	19/10/2019	22/09/2019	01/09/2019
Olbia	25/03/2019	28/03/2019	23/08/2019	26/08/2019
Piombino	04/10/2019	21/10/2019	09/08/2019	20/08/2019
Vado Ligure	28/10/2019	31/10/2019	29/07/2019	05/08/2019

Tabella I.1: schema temporale sinottico delle rilevazioni acustiche effettuate

Per quanto riguarda la variabilità stagionale dei livelli di pressione sonora legata all'incremento delle attività portuali nella stagione estiva si registra un generale tendenza al peggioramento del disturbo da rumore senza che vi sia però un andamento costante ed uniformemente distribuito. Piuttosto si sono osservati effetti differenziati rilevabili a livello puntuale da analizzare caso per caso. In alcune città si evidenzia lo sfasamento della distribuzione temporale dei livelli equivalenti di pressione sonora nei due periodi. Influiscono senza dubbio le dinamiche locali e la variabilità stagionale delle attività antropiche.
Per quanto riguarda le modalità operative, i rilievi per le città di Olbia, Piombino e Vado Ligure sono stati eseguiti quasi esclusivamente secondo una modalità del tipo *sorgente orientata* con microfono collocato in prossimità dell'infrastruttura stradale. Per la città di Bastia è stata invece seguita una logica del tipo *ricettore orientata* con posizionamento del microfono in prossimità di punti sensibili, in genere edifici.
Le misurazioni svolte in punti delle città ad una certa distanza dai porti hanno una valenza di caratterizzazione trasportistica e acustica della sorgente stradale; tali misurazioni hannoi finalità prevalentemente di ricostruzione del clima acustico basato su un modello fisico "statico" che coglie l'andamento delle curve di isolivello nello spazio (tipicamente rappresentato su mappe bidimensionali) associato a determinate portate orarie di traffico assegnate alla sezione stradale. Tali modelli permettono una valutazione omogenea dei livelli sonori sull’intera estensione del territorio in esame.

3.2.2.3 Mappature acustiche e report dei risultati

L'attività di mappatura acustica delle aree portuali delle città pilota è stata sviluppata come rappresentazione spaziale in funzione di un descrittore acustico "*livello di pressione sonora*" correlato alla sorgente di disturbo rappresentata dal traffico veicolare nelle condizioni rilevate.

Tale elaborazione ha permesso di indicare il superamento di pertinenti valori limite vigenti, il numero di persone esposte od il numero di abitazioni esposte a determinati valori di rumore.

Per la costruzione delle mappe sono stati sviluppati tramite specifiche piattaforme software i modelli digitali dei fronti portuali e sono stati utilizzati i dati rilevati nel corso delle campagne di misurazione dei flussi di traffico nella definizione qualitativa e quantitativa delle sorgenti di rumore rappresentate dagli assi stradali. Dal confronto tra i valori simulati ed i valori rilevati è stata dedotta la congruenza dei modelli digitali di propagazione adottati.

I descrittori acustici utilizzati derivano da quanto disposto dalla vigente normativa in campo acustico. A tal proposito si sono analizzati i valori dei livelli sonori ambientali per i differenti periodi di riferimento della giornata, diurno e notturno, rispettivamente Leq_D e Leq_N. Da questi sono stati ricavati i livelli sonori che è stato possibile confrontare con i valori limite previsti dal D.P.C.M. 14 novembre 1997, DPR 30 marzo 2004 n.142 per le strade e ripresi dai piani comunali di zonizzazione acustica per le zone acusticamente omogenee nella quali sono stati suddivisi i territori comunali.

Si sono inoltre presi in considerazione i descrittori acustici introdotti dal D.Lgs 194/2005: Lden (Day-Evening-Night Level) e Lnight (Night Level), così come definiti dalla Direttiva europea 2002/49/CE, modificando però le fasce orarie in cui devono essere misurati/calcolati i descrittori acustici Lday, Levening e Lnight, che insieme definiscono il descrittore acustico Lden. Ne consegue che anche i coefficienti numerici presenti nella formula del Lden sono differenti.

Il periodi identificati dalla normativa per l'elaborazione delle mappe acustiche sono quelle del giorno-sera-notte dalle 6.00 alle 6.00 del giorno successivo, mentre per la Direttiva Europea risulta dalle 7.00 alle 7.00 del giorno successivo. I periodi del giorno sono così suddivisi:

- periodo diurno: dalle 06.00 alle 20.00 (per la Direttiva dalle 7.00 alle 19.00);
- periodo serale: dalle 20.00 alle 22.00 (per la Direttiva dalle 19.00 alle 23.00);
- periodo notturno: dalle 22.00 alle 06.00 (per la Direttiva dalle 23.00 alle 7.00).

Tali descrittori sono utili ai fini della redazione delle mappe acustiche strategiche così come richiesto dalla Direttiva europea 2002/49/CE.

Nelle figure che seguono vengono riportati alcuni estratti delle mappe acustiche elaborate per le 4 città portuali pilota.

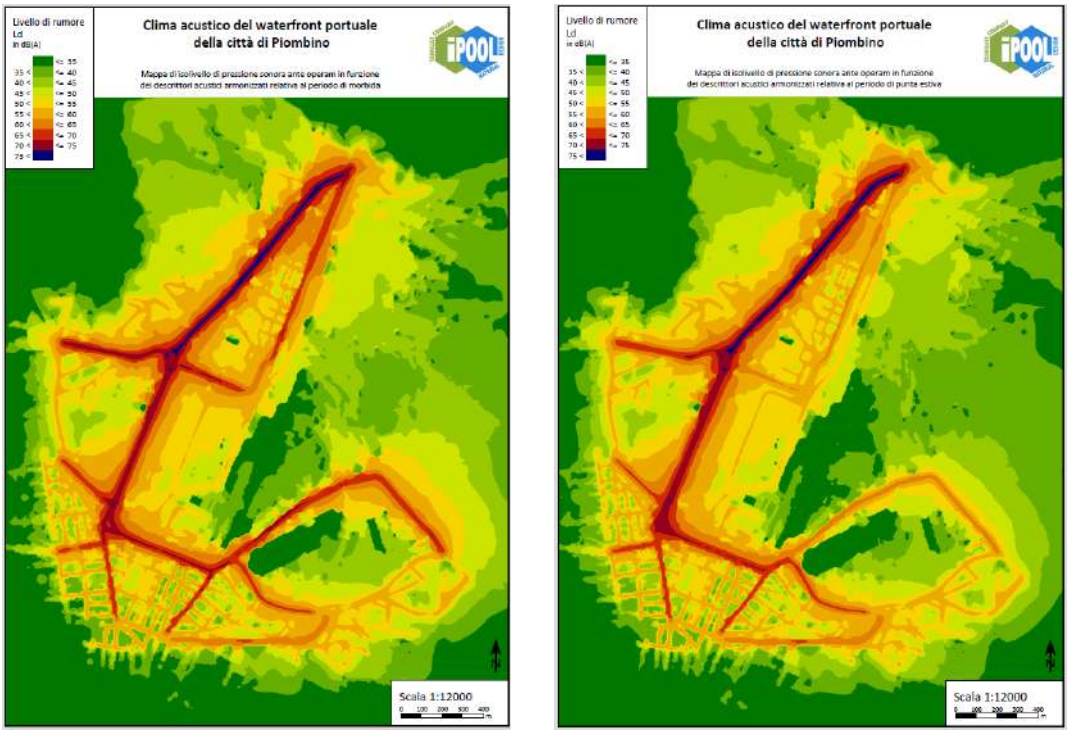


Figura I.35: Mappe acustiche della città di Piombino

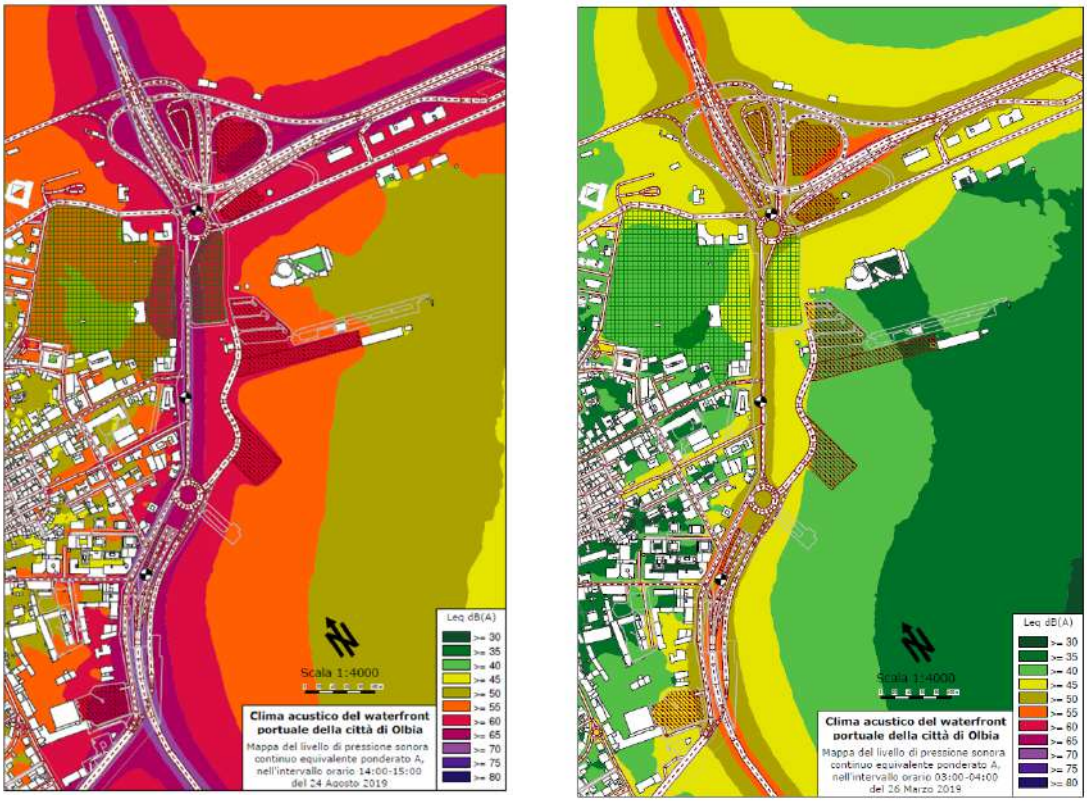


Figura I.36: Mappe acustiche della città di Olbia

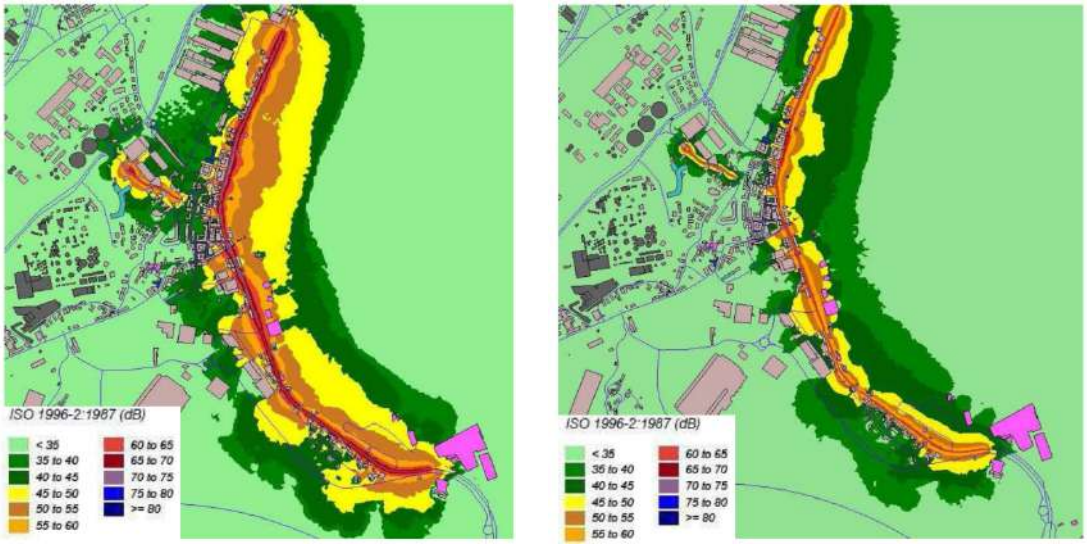


Figura I.37: Mappe acustiche della città di Olbia

3.2.3 Il modello previsionale trasporti-rumore

Il modello previsionale trasporti-rumore consiste fondamentalmente nel definire una procedura per determinare la capacità acustica di un tronco stradale e la sua implementazione in SUMO (Simulation of Urban MObility).

La procedura per la determinazione del modello è stata articolata in due distinte attività condotte da UNIPI ossia:

- Determinazione della Capacità acustica;
- Implementazione del modulo di simulazione del traffico e del rumore

Nel progetto LIST Port, UNIPI ha messo a punto una metodologia per la determinazione della capacità acustica di un tronco stradale che è stata successivamente implementata nel software di simulazione del traffico open source SUMO.

Come descritto di seguito, ai fini della determinazione della capacità acustica di un tronco stradale, vengono determinate le emissioni e le immissioni acustiche da traffico veicolare.

Le emissioni acustiche vengono calcolate direttamente mediante il software SUMO. Per quanto riguarda le immissioni, invece, è stato messo a punto uno script in Python che riceve in input le emissioni acustiche calcolate da SUMO e calcola le immissioni sonore presso un punto recettore.

Il processo metodologico che ha portato alla definizione del modello previsionale è descritto di seguito:

- le principali normative italiane ed europee a proposito dell'inquinamento acustico da traffico veicolare.
- la modellizzazione delle emissioni sonore mediante il modello Harmonoise.
- la modellizzazione della propagazione del suono nell'ambiente, mediante il modello Harmonoise.
- il procedimento per il calcolo della capacità acustica di un tronco stradale.
- uno script in linguaggio Python che implementa il modello Harmonoise di propagazione, seppure con alcune semplificazioni.

3.2.3.1 Il concetto di "capacità acustica"

La metodologia per la determinazione quantitativa della capacità acustica di un tronco stradale è stata sviluppata secondo uno schema che è già stato utilizzato per la determinazione della capacità ambientale dovuta ad inquinanti atmosferici di un tronco stradale.

Si definisce capacità ambientale dovuta ad inquinanti atmosferici di un tratto stradale il flusso veicolare in corrispondenza del quale la concentrazione di almeno uno degli inquinanti atmosferici considerati sia pari al valore limite (stabilito dalla normativa), mentre la concentrazione degli altri inquinanti sia al disotto, o al più pari, dei loro rispettivi valori limite (stabiliti dalla normativa).

Come si vedrà nella prossima sezione, la normativa sull'inquinamento acustico precisa due tipi di valori limite: uno relativo alle "emissioni sonore" ed uno relativo alle "immissioni sonore".

Si definisce capacità acustica di un tronco stradale il flusso veicolare in corrispondenza del quale uno dei due valori, o "emissioni sonore" o "immissioni sonore", è pari al valore limite (stabilito dalla normativa), mentre l'altro valore è al di sotto, o al più pari, al rispettivo valore limite (stabilito dalla normativa).

Si può definire capacità ambientale tout court di un tronco stradale il valore minore fra la capacità ambientale dovuta ad inquinanti atmosferici e la capacità acustica come sopra definita.

Per quanto riguarda le "emissioni sonore" o "immissioni sonore", la normativa sull'inquinamento acustico (DPCM 14/11/1997) definisce due tipi di valori limite:

- Valore limite di emissione sonora è il massimo valore del livello di pressione sonora (espresso in dBA) misurato in un punto ricevitore posto a 7,5m dalla traiettoria dei veicoli.
- Valore limite di immissione sonora è il massimo valore del livello di pressione sonora (espresso in dBA) presso un determinato punto ricevitore. La normativa stabilisce un valore limite di immissione da misurare presso il ricevitore più sensibile all'interno della fascia di pertinenza del determinato tronco stradale. Ma in generale la normativa stabilisce dei valori limite in ciascuna zona in cui viene suddivisa l'area urbana a seconda della destinazione d'uso. Anche questi limiti possono determinare la capacità acustica di un tronco stradale urbano. Per esempio, ipotizzando che la fascia stradale di pertinenza del tratto stradale considerato sia di 30 metri, ci potrebbe essere un ospedale a 50 metri dalla strada: il limite di immissione per l'ospedale determina la capacità acustica del tronco stradale.

I concetti limite di emissione e di immissione sono stati introdotti dalla legge 447/95. I valori limite di emissione e di immissione, per ciascuna delle classi di destinazione d'uso del territorio, sono stati definiti nel DPCM 14/11/1997, che è un decreto attuativo della legge 447/95. Le posizioni in cui devono essere misurate le emissioni e le immissioni sonore, sono definite nel DM 16/3/1998, che è anch'esso un decreto attuativo della legge 447/95.

I valori limiti sono sempre espressi in termini equivalenti: ossia dato un rumore comunque fluttuante, in un certo periodo T, si calcola il livello di pressione sonora equivalente: è questo che viene confrontato con il valore limite. Il livello di pressione sonora equivalente di un rumore (suono) variabile in un dato periodo di tempo T, è il

livello di pressione sonora costante avente il medesimo contenuto energetico del rumore (suono) fluttuante.

La modellizzazione del fenomeno del rumore dovuto al traffico veicolare è costituita dalle seguenti due fasi:

- Modellizzazione delle emissioni sonore: determinazione del rumore emesso nell'ambiente dal traffico veicolare;
- Modellizzazione della propagazione del rumore, dovuto al traffico veicolare, nell'ambiente circostante: determinazione dell'immissione sonora misurata presso un dato punto recettore.

Per la modellizzazione del rumore da traffico veicolare, si fa riferimento al modello Harmonoise (Nota et al., 2005): è un modello "evoluto", riconosciuto a livello europeo, ed implementato nel software SUMO. Questo modello permette di determinare, in modo dettagliato, sia le emissioni sonore da traffico veicolare, sia la propagazione delle stesse nell'ambiente.

Le emissioni sonore da traffico veicolare sono dei normali output dei modelli di traffico comunemente usati nell'ambito della fase di assegnazione alle reti di trasporto: l'assegnazione è uno degli "stadi" fondamentali nello studio delle reti di trasporto (generalmente sono considerati i seguenti stadi: generazione, distribuzione, scelta modale, assegnazione). Per esempio, le emissioni sonore da traffico veicolare costituiscono uno degli output della simulazione del software open-source SUMO che è stato utilizzato, nell'ambito del progetto LIST Port, per le analisi trasportistiche dei sistemi urbano-portuali esaminati nel progetto. Le emissioni sonore fornite in output da SUMO sono calcolate mediante il modello Harmonoise.

La propagazione del suono nell'ambiente invece non è modellizzata nei modelli di assegnazione alle reti ed in particolare non è modellizzata in SUMO. In ogni caso esistono software specifici che implementano la propagazione: tra questi uno dei più utilizzati è iNoise, release "Predictor – LimA"[5], che implementa il modello di propagazione del suono di Harmonoise e fa la zonizzazione del territorio.

3.2.3.2 Cenni sulla normativa europea ed italiana a proposito dell'inquinamento acustico

3.2.3.2.1 Direttiva 2002/49/CE

Normativa fondamentale a livello europeo riguardante la determinazione e gestione del rumore ambientale. Nota anche come END (Environmental Noise Directive). La Direttiva END, all'art. 3, introduce il descrittore acustico Lden: denominato "descrittore acustico "day-evening-night", è utilizzato per uniformare il "fastidio" alle persone causato dal rumore nelle diverse ore del giorno:

- lg sta per $\log_{10}$.

$$L_{den} = 10 \ \lg \frac{1}{24}\left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right)$$

[5] https://software.dgmr.nl/brochures/Leaflet_Predictor-LimA_sep-2020.pdf

- L_{day}, $L_{evening}$ e L_{night}: descrittori acustici diurno, serale e notturno, pari al livello di pressione sonora equivalente, ponderato "A", nei periodi della giornata diurno, serale e notturno.
  La norma europea considera: il periodo diurno dalle 7 alle 19, quello serale dalle 19 alle 23, e quello notturno dalle 23 alle 7 (durata 8 ore). Ciascun Paese può modificare i limiti orari dei tre periodi, in Italia il D. Lgs. 194/2005 stabilisce: il periodo diurno dalle 6 alle 20, il periodo serale dalle 20 alle 22 e il periodo notturno dalle 22 alle 6.
  La Direttiva 2002/49/CE inoltre precisa che sta ai singoli Stati Membri stabilire i valori limite per i descrittori L_{day}, $L_{evening}$, L_{night} e L_{den}. Questa Direttiva è stata recepita in Italia dal D.Lgs. 194/2005.

3.2.3.2.2 Raccomandazione C.E. del 6/8/2003

Sezione 3 della Raccomandazione 6/8/2003: precisa la metodologia per il calcolo dei descrittori acustici per il rumore stradale, ferroviario, industriale e dovuto agli aeromobili. Per il rumore stradale, la metodologia proposta nella Raccomandazione si rifà alla "Guide du Bruit 1980", ossia al metodo francese. Questa sezione però è stata "superata" e abrogata dalla Direttiva 2015/996/UE, descritta di seguito.

3.2.3.2.3 Direttiva 2015/996/UE

Stabilisce una metodologia univoca per la determinazione delle emissioni e delle immissioni sonore da traffico veicolare: CNOSSOS-EU.
La metodologia CNOSSOS-EU è una semplificazione del modello Harmonoise che verrà descritto nelle slide successive.

3.2.3.2.4 Legge quadro sull'inquinamento acustico: L.447/95

La Legge quadro sull'inquinamento acustico dapprima fornisce alcune definizioni fondamentali. In particolare definisce l'inquinamento acustico, le sorgenti sonore fisse e mobili, e i valori limite di emissione e di immissione, i valori di attenzione e i valori di qualità.

3.2.3.2.5 DPCM 14/11/1997

Il DPCM '97 riporta la seguente classificazione del territorio comunale:
- CLASSE I - aree particolarmente protette
- CLASSE II - aree destinate ad uso prevalentemente residenziale
- CLASSE III - aree di tipo misto
- CLASSE IV - aree di intensa attività umana
- CLASSE V - aree prevalentemente industriali
- CLASSE VI - aree esclusivamente industriali

La suddetta classificazione era già stata introdotta nel DPCM 1/3/1991 ed è stata poi aggiornata dal DPCM '97.
Il DPCM 14/11/1997 stabilisce, per ciascuna delle classi di destinazione d'uso: i valori limite di emissione, i valori limiti assoluti di immissione, i valori limiti di qualità. Tutti i valori (limite, di emissione e di immissione, e di qualità) sono espressi in livello Leq in dBA.

3.2.3.2.6 D.M. 16 marzo 1998: “Tecniche di rilevamento e di misurazione dell’inquinamento acustico”

Nell’allegato A il DM ’98 introduce alcune definizioni fondamentali a proposito di inquinamento acustico: tempo di riferimento, tempo di osservazione e tempo di misura; livello di rumore ambientale e livello di rumore residuo.
L’Allegato B del DM ’98 precisa che la misura del livello sonoro equivalente nel periodo di tempo di riferimento, diurno o notturno, si può misurare in due modi: per integrazione continua (misurato durante l’intero periodo di riferimento) oppure con tecnica di campionamento.
Il DM ’98, allegato C precisa infine dove devono essere misurate le emissioni e le immissioni sonore.

3.2.3.2.7 D.P.R. 30 marzo 2004, n°142

Aggiorna le normative precedenti definendo la cosiddetta “fascia di pertinenza acustica” di una strada. Inoltre stabilisce: l’ampiezza della fascia di pertinenza in funzione della tipologia di strada, ed i relativi valore limite di immissione acustica, anch’essi differenti per ogni tipologia di strada.

3.2.3.2.8 D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 194 (aggiornato dal D.Lgs. 42/2017)

Il D.Lgs. 194/2005 è il recepimento della direttiva 2002/49/CE; successivamente aggiornato dal D.Lgs. n°42 del 17/02/2017. Il D. Lgs. 194/2005 stabilisce l’uso dei descrittori acustici L_{day}, $L_{evening}$ e L_{night} come suggerito dalla direttiva europea e impone che il calcolo di L_{den} debba avvenire secondo l’espressione riportata nella direttiva 2002/49/CE. Nell’art. 5, comma 2, il D.Lgs. 194/2005 prevede che venga pubblicato un decreto attuativo che stabilisca i valori limite per i descrittori L_{den} e $L_{night.}$ Nell’art. 5, comma 4, è riportato: *“Fino all'emanazione dei decreti di cui al comma 2 si utilizzano i descrittori acustici ed i relativi valori limite determinati ai sensi dell'articolo 3 della legge n. 447 del 1995”.* Il Decreto Attuativo menzionato nel D.Lgs. 194/2005 (aggiornato dal D.Lgs. 42/2017) non è mai stato promulgato, pertanto, restano validi i soli valori limite per L_{day} e L_{night} previsti dal DPCM ‘97.

3.2.3.2.9 D. Lgs. n° 42 del 17 febbraio 2017

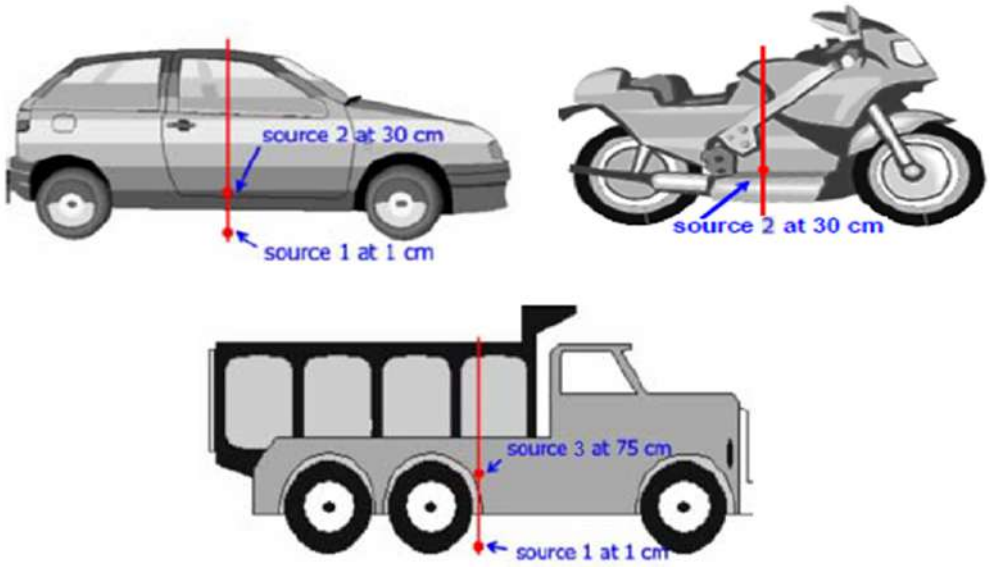
Il D. Lgs. n° 42 del 17 febbraio 2017 ha modificato molte parti del D.Lgs. 194/2005. Inoltre, stabilisce che, a decorrere dal 31 dicembre 2018, per il calcolo dei descrittori acustici, si applicano i metodi stabiliti, a norma della direttiva 2015/996/UE: ossia la metodologia CNOSSOS-EU.

3.2.3.3 Modello di emissione di Harmonoise

Questo metodo, cosiddetto “ingegneristico”, è utilizzato per la previsione del livello di inquinamento acustico causato dal traffico stradale e ferroviario.
Il modello di emissione di Harmonoise riceve in input le caratteristiche della corrente veicolare: portata veicolare (numero di veicoli nell’unità di tempo) distinta per categoria di veicoli, velocità media e accelerazione media della corrente di traffico di ciascuna categoria di veicoli.

Il modello di emissione di Harmonoise produce in output il livello di potenza sonora emessa dalla sorgente stradale.
La sorgente sonora “strada” viene modellizzata come un insieme di sorgenti puntiformi: i veicoli. Ognuna di queste sorgenti puntiformi ha una posizione, un livello di potenza sonora e una direzione di movimento. Ogni sorgente sonora “veicolo” è a sua volta suddivisa in sotto-sorgenti, poste a diverse quote dalla superficie del terreno.

Di seguito le tre sotto-sorgenti considerate in Harmonoise:



Il rumore prodotto da ciascun veicolo è dovuto a due cause fondamentali: rotolamento e propulsione.
Il rumore da rotolamento, per le autovetture (classe veicolare m=1) è prodotto per l’80% dalla sotto-sorgente 1 posta ad 1 cm dal suolo, e per il 20% dalla sotto-sorgente 2 posta a 30 cm dal suolo. Il rumore da rotolamento per i veicoli pesanti, e per i “medium heavy vehicles (classi veicolari m=2 e m=3), è prodotto per l’80% dalla sotto-sorgente 1 posta ad 1 cm dal suolo, e per il 20% dalla sotto-sorgente 3 posta a 75 cm dal suolo. Per i motocicli, il rumore da rotolamento è considerato trascurabile.
Per quanto riguarda invece il rumore da propulsione, per le autovetture è prodotto per il 20% dalla sotto-sorgente 1 (a 1 cm dal suolo) e per l’80% dalla sotto-sorgente 2 (a 30 cm dal suolo). Per i motocicli, il rumore da propulsione (che è l’unico considerato) proviene al 100% dall’unica sotto-sorgente 2 a 30 cm dal suolo. Il rumore da propulsione per i veicoli pesanti è prodotto per il 20% dalla sotto-sorgente 1 (a 1 cm dal suolo) e per l’80% dalla sotto-sorgente 3 (a 75 cm dal suolo).

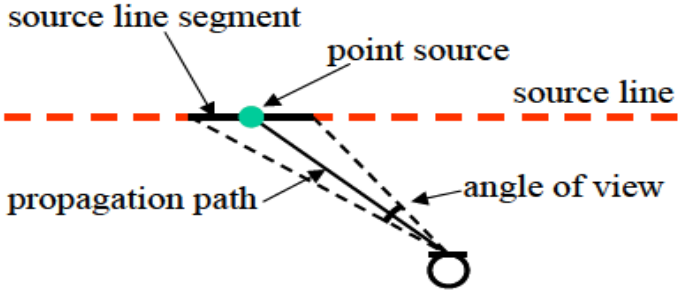
Di seguito, le categorie veicolari considerate in Harmonoise:

Main type	m	Example of vehicle types	Notes
Light vehicles	1a	Cars (incl MPV:s up to 7 seats)	2 axles, max 4 wheels
	1b	Vans, SUV, pickup trucks, RV, car+trailer or car+caravan(1), MPVs with 8-9 seats	2-4 axles*, max 2 wheels per axle
	1c	Electric vehicles	
	1d	Hybrid vehicles	
Medium heavy vehicles	2a	Buses	2 axles (6 wheels)
	2b	Light trucks and heavy vans	2 axles (6 wheels)(2)
	2c	Medium heavy trucks	2 axles (6 wheels)(2)
	2d	Trolley buses	2 axles (6 wheels)(2)
	2e	Low noise design	2 axles (6 wheels)(2)
Heavy vehicles	3a	Buses	3-4 axles
	3b	Heavy trucks	3 axles
	3c	Heavy trucks	4-5 axles
	3d	Heavy trucks	≥6 axles
	3e	Low noise design	≥3 axles
Other heavy vehicles	4a	Construction trucks (partly off-road use)	
	4b	Agr. tractors, machines, dumper trucks, tanks	
Two-wheelers	5a	Mopeds, scooters	Include also 3-wheel motorcycles
	5b	Motorcycles	

Il modello di emissione di Harmonoise è costituito da due modelli a cascata:

- **Modello veicolare**: riceve in input la velocità e l'accelerazione media della corrente veicolare di ciascuna categoria di veicoli, e fornisce in output il livello di potenza sonora emessa da ciascun veicolo.
- **Modello di traffico**: riceve in input il livello di potenza sonora emessa da ciascun veicolo (più precisamente da ciascuna sotto-sorgente), combina le emissioni sonore dei singoli veicoli, e determina in output il livello di potenza sonora per metro di lunghezza della corrente veicolare. Le emissioni sonore delle tre sotto-sorgenti vengono determinate separatamente, e vengono "combinate" solo alla fine del modello di emissione.

L'infrastruttura stradale viene modellizzata mediante una "linea di sorgente", a sua volta suddivisa in segmenti di linea di sorgente, ciascuno lungo 1m. Ogni segmento di linea di sorgente viene modellizzato mediante una sorgente puntuale: si veda la figura seguente.



3.2.3.3.1 Modello di propagazione di Harmonoise

$$L_{p,h,j,i} = L_{w,h,j,i} - A_{div} - A_{atm,i} - A_{excess,i} - A_{refl,i} - A_{scat,i}$$

- $L_{p,h,j,i}$ = livello di pressione sonora istantaneo, immesso in un dato punto recettore, dalla sotto-sorgente sonora *h* (a 1cm, 30 cm o 75 cm), dal segmento di linea di sorgente *j* (modellizzato mediante una sorgente puntuale), alla frequenza sonora *i*
- $L_{W,h,j,i}$ = livello di potenza sonora [dB], emesso dalla sotto-sorgente *h*, dal segmento di linea di sorgente *j*, alla frequenza *i*; è l'output del modello di emissione
- A_{div} = attenuazione dovuta alla divergenza geometrica
- $A_{atm,i}$ = attenuazione dovuta all'assorbimento del suono da parte dell'atmosfera;
- $A_{excess,i}$ = "attenuazione in eccesso", dovuta alle riflessioni del suolo
- $A_{refl,i}$ = attenuazione dovuta alla perdita di energia nella riflessione sonora
- $A_{scat,i}$ = attenuazione dovuta alla dispersione sonora a causa della vegetazione

3.2.3.4 Implementazione dei modelli di emissione e di propagazione

Il modello di emissione veicolare di Harmonoise è già implementato in SUMO. Però, il modello in SUMO considera già un unico valore di emissione per veicolo, ossia le emissioni acustiche delle tre sotto-sorgenti sono già state aggregate.
SUMO fornisce in output le emissioni acustiche di ogni veicolo in ogni istante di simulazione. Riporta inoltre su quale arco della rete stradale si trova ogni veicolo in ciascun istante.
E' stato sviluppato uno script in linguaggio Python che implementa il modello Harmonoise di traffico e il modello di propagazione, seppur semplificato in alcune sue parti.
Lo script riceve in input le emissioni acustiche di ogni veicolo in ciascun istante di simulazione, e l'identificativo dell'arco su cui il veicolo si trova, e fornisce in output: le emissioni acustiche su ogni arco, e le immissioni acustiche in un dato punto recettore.

3.3 Gli scenari di progetto

Una volta analizzate le criticità sia dal punto vista trasportistico che dal quello acustico, sono state individuate, per tutte le città portuali pilota del progetto, gli scenari alternativi e le possibili localizzazioni dei sistemi di info-mobilità con PMV più funzionali al reindirizzamento del traffico quando questo determina livelli di emissione sonora superiori ai livelli soglia.
Gli scenari individuati per ogni città portuale pilota consistono nell'individuare dei percorsi alternativi per i veicoli diretti o in uscita dal porto capaci di ridurre il flusso veicolare sui rami stradali più congestionati facendoli transitare in quelli meno carichi, e quindi ridurre le emissioni acustiche da esso generate.
La definizione degli scenari è avvenuta attraverso l'utilizzo del modello di traffico realizzato con il software open source SUMO per tutte le città portuali.
Nelle figure seguenti vengono riportati gli esempi degli schemi di posizionamento dei sistemi di PMV per le città di Bastia e Piombino funzionali ad informare gli utenti della strada ai fini di reindirizzare i flussi di traffico.

Figura I.38: Mappa dell'area portuale di Piombino e delle zone limitrofe, con indicazione dei tre gate di accesso al porto (in rosso) e dell'"area polmone" (in blu).

Figura I.39: Localizzazione del PMV1

Le dimensioni del PMV1 sono del tutto indicative essendo fuori scala. I messaggi che il PMV1 potrebbe riportare nei due casi di non congestione e di congestione, sono mostrati rispettivamente in Figura I.40 e Figura I.41.

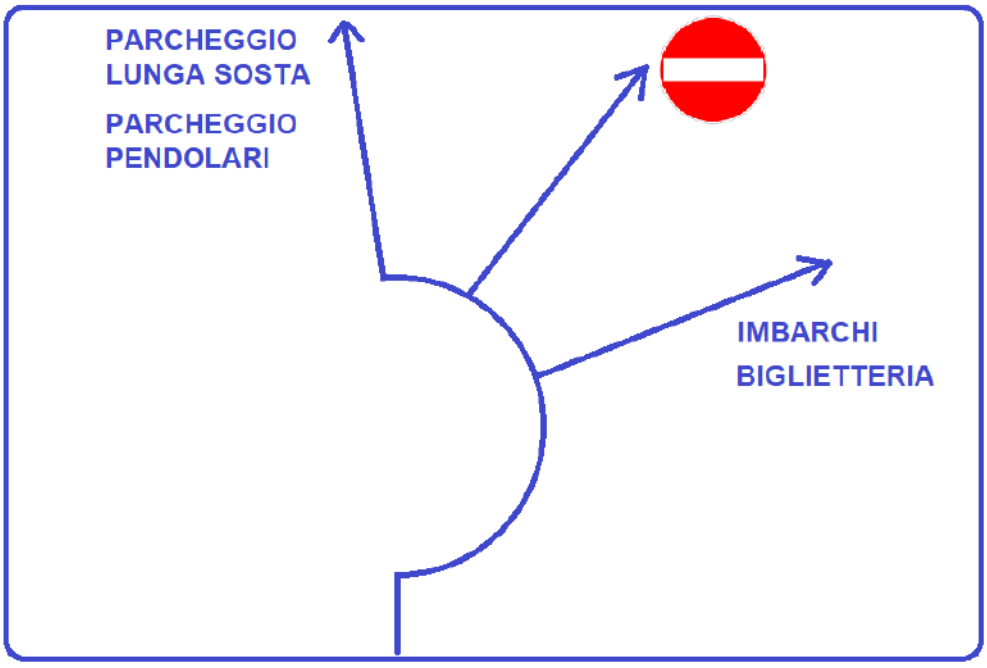


Figura I.40: Esempio di messaggi che il PMV1 potrebbe riportare in caso di non congestione.

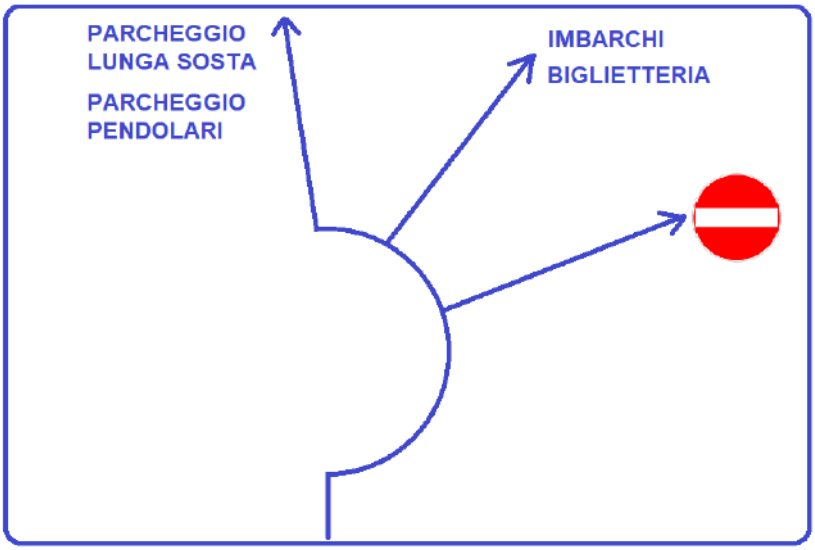


Figura I.41: Esempio di messaggi che il PMV1 potrebbe riportare in caso di congestione.

Figura I.42. Itinerari principali ed alternativi

In Figura I.42 sono indicati: in blu l'itinerario principale attraverso la T11, ed in rosso l'itinerario alternativo ("itinéraire bis"), attraverso il centro di Bastia: che però comprende in larga parte strade strette e tortuose. Sono entrambi itinerari bidirezionali. Il cerchio verde, in basso in figura, evidenzia la rotatoria che nel seguito chiameremo "Rotatoria di Montesoro". I due itinerari sono collegati da un brevissimo tronco stradale, evidenziato dal rettangolo viola. Nell'"itinéraire bis" si distingue: una parte sud, dalla rotatoria di Montesoro (cerchietto verde) al tronco stradale evidenziato dal rettangolo viola; una parte nord, dal tronco stradale suddetto alla Rond Point Nogues

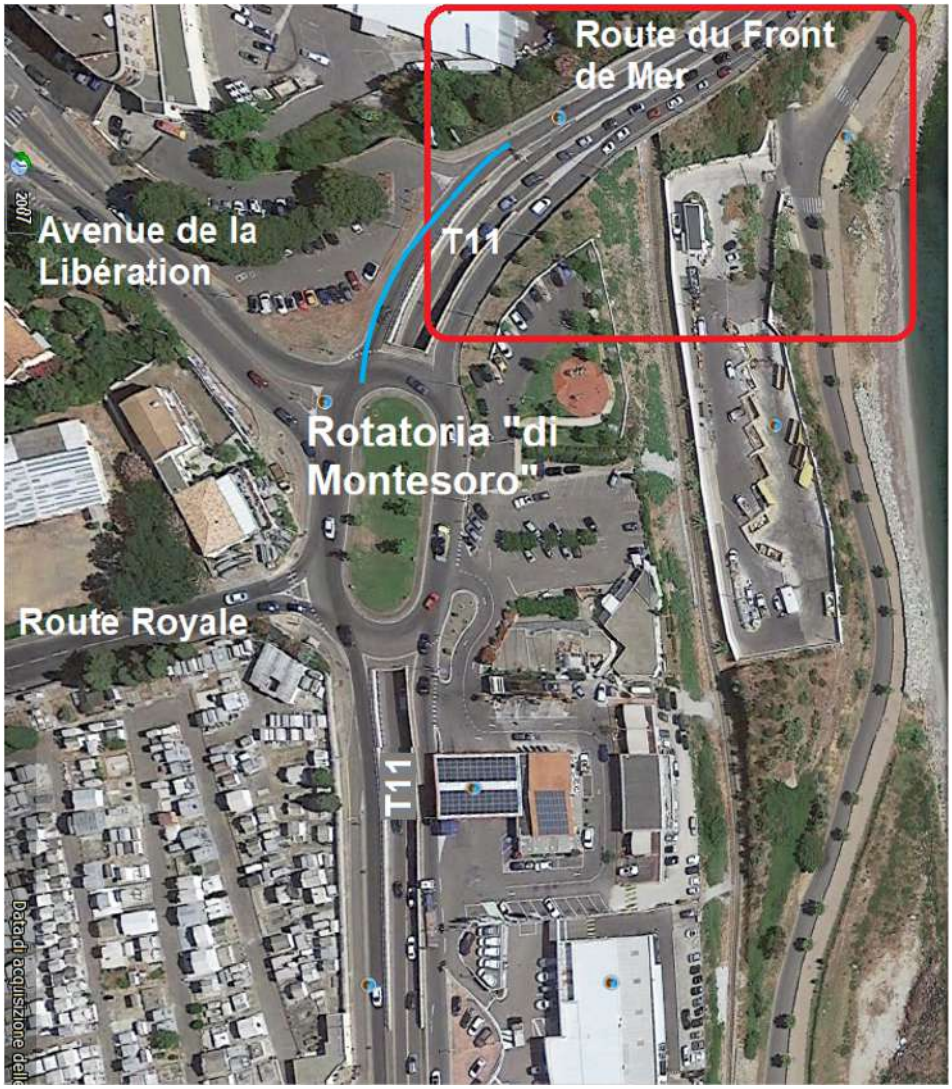


Figura I.43. Rotatoria di Montesoro.

In Figura I.43 il punto di maggior congestione è evidenziato in rosso e corrisponde all'immissione della rampa che congiunge la rotatoria di Montessoro con la T11 in direzione nord (evidenziata in blu in figura e denominata nel seguito, per brevità, “rampa nord”).

3.4 Il sistema ITS LIST-PORT - Descrizione generale -

Le tecnologie dei sistemi intelligenti di trasporto (ITS) sono strumenti fondamentali per la pianificazione della mobilità urbana e coadiuvano le pubbliche autorità (PA) nel conseguimento dei loro obiettivi strategici e nella gestione delle concrete operazioni di gestione del traffico, soprattutto nell'affrontare le dirette problematiche che il traffico determina sul benessere e sull'inquinamento ambientale. Tali sistemi costituiscono inoltre un ausilio per gli utilizzatori finali, consentendo loro di operare scelte consapevoli in materia di mobilità come l'ottimizzazione dell'uso dell'infrastruttura esistente mediante una serie di mezzi, quali segnali stradali, sistemi di pianificazione degli itinerari o sistemi cooperativi (compresi i sistemi di comunicazione da veicolo a veicolo e da veicolo a infrastruttura). L’integrazione di questi strumenti secondo una logica sistemica

garantisce una migliore gestione delle reti stradali e del trasporto pubblico oltre a facilitare l'attuazione di regimi integrati di logistica urbana e di accesso regolamentato, soprattutto se finalizzato alla riduzione della pressione dell'inquinamento ambientale ed acustico nei confronti delle città, in particolare per quelle dove la presenza dei nodi portuali accentua l'attrazione di traffico sia leggero che pesante.
Definito il contesto, i sistemi ITS previsti nella componente nel progetto LIST-PORT, sono stati sviluppati secondo un processo ed una architettura dei sistemi tali da poterli facilmente implementare ed utilizzare anche dopo la conclusione del progetto. Uno degli aspetti che li caratterizza è proprio la loro funzionalità ed autonomia gestionale che permane oltre la conclusione del progetto; infatti terminata la fase di sperimentazione del sistema, la gestione e le successive implementazioni saranno a carico delle PA partner beneficiarie del progetto (Città e Autorità Portuali di Olbia, Vado Ligure, Piombino e Bastia), che, vista l'attività formativa prevista, saranno in grado di gestire autonomamente il sistema.
Al termine della installazione ed implementazione dei sistemi nelle quattro città portuali pilota è stata prevista una fase di sperimentazione del sistema, con ulteriori rilevazioni acustiche coordinate con quelle di traffico necessarie per valutare l'efficacia e la risposta dei sistemi ITS agli obiettivi del progetto, oltre a valutare i livelli di usabilità del sistema da parte degli operatori della PA addetti alla gestione, e degli utenti che viceversa lo utilizzano (utenti attratti e generati dal nodo portuale).
I moduli del sistema ITS LIST-PORT sono stati concepiti nel rispetto della Direttiva 2010/40/UE riguardante il quadro generale per la diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti nel settore del trasporto stradale e sue interfacce con altri modi di trasporto, del Regolamento delegato n. 886/2013. In particolare nel rispetto delle indicazioni che stabiliscono le specifiche atte ad assicurare la compatibilità, interoperabilità e continuità nell'attivazione e nell'operatività dei dati e delle procedure per la comunicazione gratuita agli utenti, di informazioni minime universali sulla viabilità connesse alla sicurezza stradale. Si è operato inoltre nel rispetto della direttiva 2003/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, relativa al riutilizzo dell'informazione del settore pubblico finalizzate alla diffusione gratuita e semplice delle informazioni o dati in possesso degli enti pubblici.
I sistemi sviluppati potranno successivamente essere ulteriormente potenziati e migliorati grazie all'architettura "aperta" del sistema e per la configurazione della piattaforma, la quale è stata realizzata in modo da poter interoperare con altri sistemi ITS, o più in generale utilizzare ulteriori dati e rilevazioni sulla mobilità di persone, di veicoli privati e di sistemi di trasporto pubblico provenienti da altri sistemi. In questo senso potrebbe ampliarsi la gamma dei servizi offerti e la platea dei potenziali utenti/utilizzatori beneficiari finali rispetto a quelli specifici coinvolti durante lo sviluppo e la sperimentazione del progetto. Il sistema è inoltre facilmente scalabile su diverse realtà territoriali che siano poste al di fuori dell'area di cooperazione, oltreché disporre di una architettura aperta, espandile, e soprattutto sviluppata per elaborare dati e informazioni "open" provenienti da diverse stazioni della PA, come da quelle di altri sistemi ITS strutturati secondo una architettura aperta e che utilizzano gli open data
Il sistema integrato ITS LIST-PORT garantisce la replicabilità e scalabilità in altri contesti che siano esterni a quelli di progetto, perché rispetta i seguenti requisiti e principi:

a) fornisce supporto ai problemi del trasporto stradale, quali la congestione del traffico, le emissioni inquinanti, ed indirettamente all'efficienza energetica e alla sicurezza degli utenti della strada;
b) assicura l'interoperabilità; infatti i sistemi di gestione e funzionamento garantiscono la capacità di condivisione delle informazioni e dati per essere facilmente implementabili, integrabili, espandibili e scalabili in altre realtà differenti senza particolari difficoltà, se non quelle legate alle implementazioni delle specifiche informazioni che caratterizzano il contesto nel quale viene applicato. (dati informativi e descrittivi del sistema trasportistico, e scenari di riassetto dello stesso sistema in funzione alle criticità rilevate);
c) promuove, attraverso i sistemi ITS di LIST PORT, la parità di accesso alle informazioni e la non discriminazione nei confronti delle categorie deboli e svantaggiate,
d) offre dei livelli di qualità e diffusione dei servizi elevato, perché è facilmente implementabile e scalabile per essere in grado di tener conto delle specificità locali, regionali e nazionali;
e) è concepito per essere integrabile con altre tecnologie già disponibili nelle reti e nei sistemi ITS esistenti;
f) garantisce la retro-compatibilità delle soluzioni adottate, ed assicura la capacita di operare con i sistemi ITS esistenti e che abbiano finalità comuni o simili.

Unitamente a tali criteri per conseguire l'efficienza, la razionalizzazione e l'economicità di impiego, i prodotti di base del sistema LIST-PORT sono stati creati per essere messi a disposizione anche delle PA esterne all'area di cooperazione. Per conseguire tali finalità il progetto risponde alle seguenti linee di azione:

a) alla esplicazione dettagliata dell'architettura e degli elementi indispensabili per sviluppare, ampliare, manutenere e gestire la piattaforma.
b) alla disponibilità libera dei modelli di riferimento e degli standard tecnici di progettazione del sistema, allo scopo di favorire e conseguire l'interoperabilità e la coerenza del sistema ITS LIST-PORT con quelli disponibili negli Stati transfrontalieri e con gli analoghi sistemi in ambito comunitario;
c) alla disponibilità di Database per l'alimentazione del sistema ITS List Port interoperabili e facilmente accessibili secondo gli standard europei dell'open data
d) alla versatilità dell'architettura del sistema capace in futuro di alimentarsi con dati provenienti da geolocalizzazioni dei veicoli del sistema satellitare EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) e GALILEO per i servizi di navigazione satellitare di supporto al trasporto delle persone e delle merci.

Occorre inoltre evidenziare come la formazione all'utilizzo del sistema ITS LIST PORT rivolta agli operatori della PA, sia essa stessa garanzia della sostenibilità nel tempo dei risultati della componente, in quanto il sistema nasce come progetto sperimentale pilota, ma vuole essere la prima azione finalizzata al suo successivo sviluppo ed implementazione, sia nel numero di apparecchiature e sistemi installati sia sulla successiva interoperabilità con altri sistemi ITS di gestione del traffico come i varchi di accesso portuali.

Il sistema

3.4.1 Sistema ITS con PMV e apparti per il monitoraggio del traffico

Il progetto ha permesso di realizzare un sistema di ITS che prevede il monitoraggio dei livelli di traffico nelle principali arterie viarie di accesso ed uscita dai porti della città pilota al fine di definire un modello virtuale in grado di simulare nuovi scenari di assetto della rete, capaci di ridurre il carico veicolare e quindi ridurre l'impatto da rumore da essi generato. Attraverso il Sistema TMacs - come Piattaforma Software per la gestione del traffico e della mobilità nelle città portuali, è possibile avere una rappresentazione dell'asse stradale interessata dal traffico, raccogliere le informazioni provenienti da tutti i sistemi; elaborare i dati con lo stato del traffico; rilevare eventuali criticità e elaborare dei scenari da attuare in presenza di determinate condizioni.

Il Sistema ITS consente la centralizzazione mediante il Sistema TMacs per l'acquisizione delle informazioni rilevate dalle stazioni monitoraggio traffico su strada e l'invio di messaggi per l'infomobilità al cittadino su pannelli a messaggi variabili per limitare il traffico e consigliare percorsi alternativi in presenza di code nell'ambito portuale e urbano di Piombino.

In particolare, l'architettura del sistema ITS è stata realizzata attraverso le seguenti componenti:

- sistema di videocamere per il monitoraggio dei parametri caratteristici e la classificazione dei flussi di traffico, costituito da n° 4 postazioni di rilievo sulle sezioni stradali ritenute più rilevanti;
- n° 2 PMV grafici e del sistema di gestione in remoto in grado di fornire informazioni in base alle condizioni di traffico a campo rilevate dal sistema di videocamere fornito;
- Unità di elaborazione per il collegamento con le telecamere ed i PMV;
- Sistema di comunicazione con apparati per la connettività al sistema centrale;
- Cartelli ed etichette di segnalazione di area monitorata/videosorvegliata.

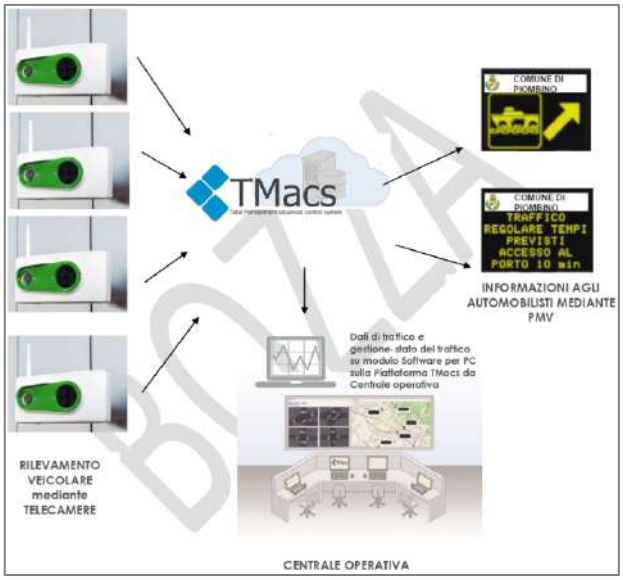


Figura I.44 – Architettura del sistema (es. Piombino)

Figura I.45 Posizionamento telecamere (es. Piombino)

Figura I.46 Modelo telecamera(es. Piombino)

Figura I.47 T.1 Viale Dalla Chiesa (es. Piombino)

Figura I.48 T.2 Viale Unità d'Italia (es. Piombino)

Figura I.49 T.3 Viale Unità d'Italia (es. Piombino)

Figura I.50 T.4 Viale Unità d'Italia (es. Piombino)

La Piattaforma TMacs, consiste in un vero e proprio Sistema ITS modulare che permette di monitorare, gestire e far interagire tra loro le tipologie di dispositivi diversi. Inoltre, Il software server svolge due macro funzioni:

- l'interfacciamento tra Server e unità di campo (Stazioni di Monitoraggio Traffico, Regolatori semaforici, PMV, Sottopassi, ecc.)
- l'interfacciamento tra Server e postazioni Utente (client)

Il caricamento dei messaggi visualizzati sui due PMV installati in due diverse postazioni, avviene in modo automatico attraverso diverse modalità come il palinsesto, la situazione di traffico identificata con uno scenario (rilevato da stazioni monitoraggio, sistema conteggio parcheggi, il sistema tempi di percorrenza e impianti semaforici) oppure scelto (messaggi di default) o creato manualmente da operatore abilitato. Attraverso la componente TMACS-Visual della piattaforma, si possono visualizzare in simultanea i PMV e per ciascun PMV è possibile visualizzare il messaggio su strada, eventuali problemi di diagnostica e problemi di comunicazione al fine di consentire all'utente (automobilista) di non utilizzare le aree problematiche o seggette a congestione. Tra le altre funzionalità, la piattaforma mediante la componente Macs Analysis, consente la visualizzazione dei dati traffico, il monitoraggio real-time e i dati storici e fornisce analisi ed elaborazioni relative alla mobilità, con lo scopo di conoscere le caratteristiche del traffico nella viabilità monitorata e studiare soluzioni migliori per la mobilità nell'ambito portuale ed urbano. Infine, attraverso l'utilizzo del protocollo di comunicazione DATEX II promosso dalla Unione Europea e convertito in standard dal CEN, sarà possibile l'interscambio dei dati tra il Sistema Centrale costituito dalla Piattaforma TMACS e il mondo esterno offrendo ai cittadini e operatori portuali una gestione ottimale degli accessi al porto e una più efficace gestione del traffico interno nell'area portuale delle città portuali pilota.

Figura I.51: Posizionamenti dei due PMV (es. Piombino)

Figura I.52: Foto-inserimento PMV in Viale Margerita (es. Piombino)

Figura I.53: Foto inserimento PMV in S.P. della Principessa (es. Piombino)

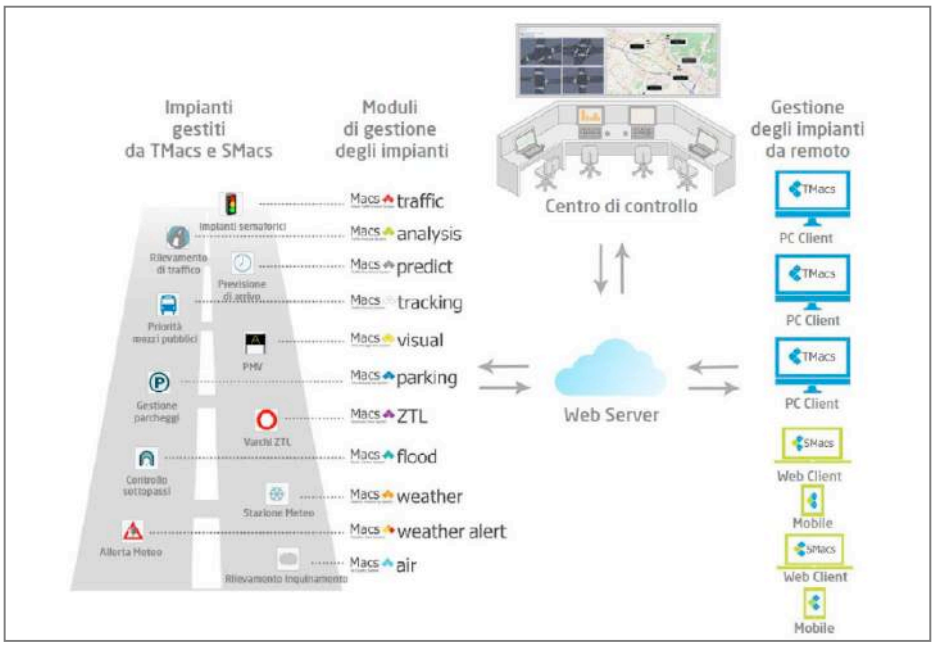


Figura I.54: Piattaforma TMacs

3.4.2 Sistema ITS List Port con l'ausilio di APP

Il requisito fondamentale della App di LIST Port è quello di fornire agli utenti informazioni che consentano una riduzione della congestione stradale e dell'inquinamento acustico sui percorsi di accesso o deflusso nelle aree portuali delle città di LIST Port: Vado Ligure, Piombino, Olbia e Bastia.

La app è una piattaforma per l'erogazione di servizi: consente l'integra-zione cloud-based di servizi e sistemi informativi locali, la fornitura di servizi di localizzazione, e infine è compatibile con numerosi standard di dati.

Le tipologie di servizi forniti dalla app sono: informazioni di mobilità, pianificazione degli spostamenti, e, laddove possibile, agevolerà le prenotazioni dei vettori marittimi. La app infine consente agli utenti di lasciare un feedback. La struttura generale della app è mostrata nel dettaglio in Figura I.55.

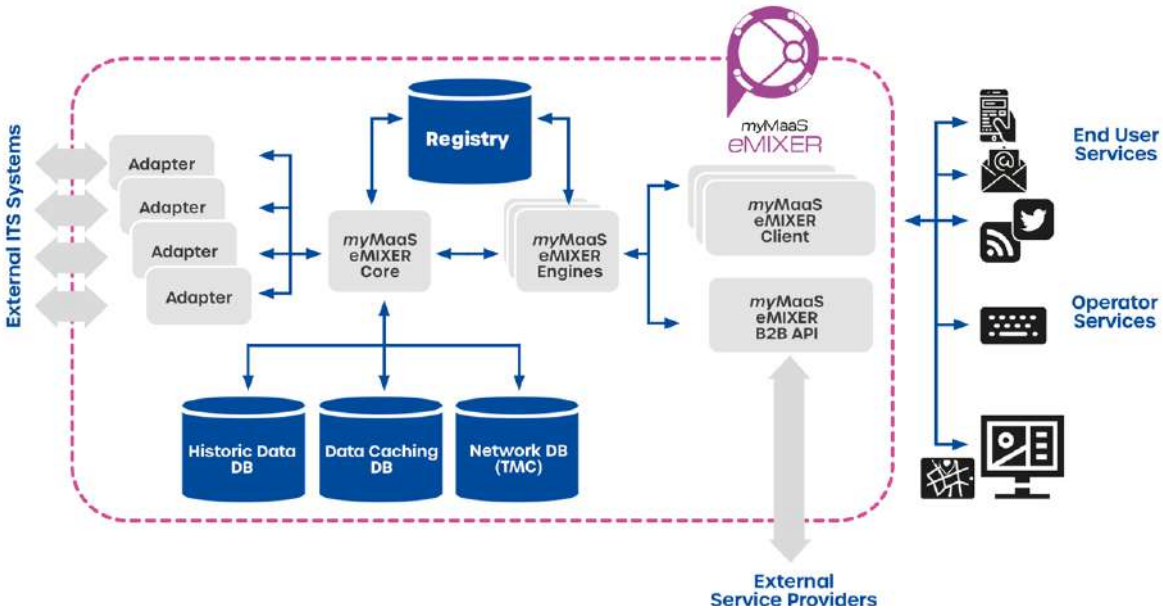


Figura I.55 Struttura generale della app.

La app è uno strumento complementare ai PMV, sistemi di segnaletica e instradamento realizzati su strada. In particolare i PMV forniscono indicazioni di prossimità, mentre la app fornisce informazioni non solo on-trip ma anche pre-trip, ossia consente di organizzare l'itinerario da e per il porto.
La principale sorgente dei dati necessari per la app è costituita dalla centrale del sistema ITS List-Port che gestisce tutte le informazioni rilevati con i sistemi di monitoraggio del traffico e permette la gestione dei PMV. La App permette di essere connessa ad altre sorgenti di informazioni che riguardano: sistemi o servizi digitali locali, diversi in ciascuno dei quattro scenari di studio; servizi accessibili su internet, come ad esempio gli orari di arrivi e partenze dei traghetti.
Le strategie di instradamento sono calcolate dalla centrale del sistema ITS List Port e sono il risultato della valutazione sia dei flussi veicolari misurati dalle telecamere, sia dell'inquinamento acustico, stimato a partire dai dati di traffico mediante il modello CNOSSOS-EU, stabilito dalla normativa vigente sull'inquinamento acustico.
L'integrazione della App con il sistema ITS dei PMV è mostrata in Figura I.56.

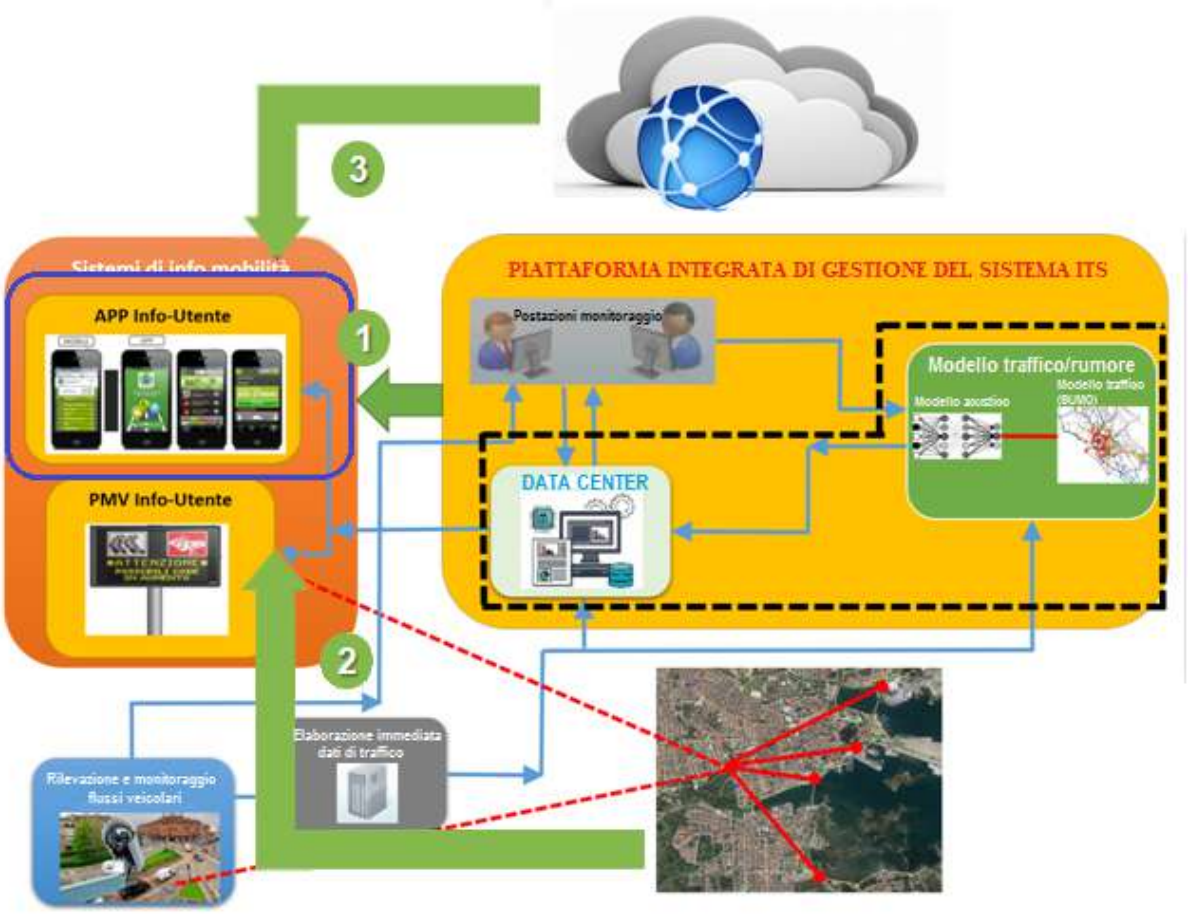


Figura I.56: Integrazione della app con il sistema ITS dei PMV

Per ciascuna città-porto, la app fornisce i seguenti servizi: indicazioni sintetiche relative ai percorsi da e verso il porto; informazioni dettagliate sui percorsi, che sono visualizzati su mappa; se disponibili, le immagini rilevate dalle telecamere nelle aree del porto e dai sistemi di monitoraggio del traffico con telecamere o spire di LIST Port; collegamento con i siti web delle compagnie di navigazione presenti in ciascun porto. Tra le indicazioni rapide, sarà possibile visualizzare le informazioni fornite dai PMV installati nel progetto. Un esempio di informazioni sui percorsi nello scenario di Vado Ligure è mostrato in fig. 1.3: la app mostrerà l'itinerario migliore sulla mappa, ma fornirà anche informazioni "solo testo" sull'itinerario.

3.4.3 Piattaforma di interfacciamento dei sistemi PMV, monitoraggio traffico e APP

La "piattaforma software/applicativo", in lingua italiana e francese, consente di mettere in comunicazione il sistema di INFO-Mobilità con postazioni a messaggio variabile (PMV) e monitoraggio del traffico e la APP List Port, attraverso l'invio di "input" di instradamento dei veicoli in funzione di livelli-soglia di pressione acustica valutati attraverso l'implementazione dell'applicazione del modello Harmonoise o della metodologia CNOSSOS-EU. Entrambi i sistemi da interfacciare sono destinati all'instradamento dei veicoli diretti in uscita dal porto delle città portuali pilota di Olbia, Bastia, Vado Ligure e Piombino.

3.4.3.1 Descrizione della piattaforma

La “piattaforma o software/applicativo” consente di mettere in comunicazione la APP (cfr. 3.4.2) e il sistema di INFO-Mobilità con PMV (cfr. 3.4.1), attraverso l’invio di “input” ai due sistemi quando il livello di emissione di rumore generato dal traffico supera una certa soglia. Gli input, consistenti nell’invio di informazioni sul superamento delle soglie critiche di emissione sonora, attivano gli scenari di traffico (prestabiliti e definiti per le singole città portuali Pilota cfr. 3.3) sia ai PMV (informazioni di prossimità) sia alla App (pianificazione del viaggio). Il modulo di valutazione delle emissioni acustiche, in funzione dei dati di traffico rilevati con le telecamere o radar recorder dovrà elaborare tali dati di traffico e valutare, oltre al livello di congestione stradale, il livello di emissione sonora da esso generato.

La “piattaforma software/applicativo” è integrata con un sottomodulo per la determinazione delle emissioni acustiche da traffico veicolare. La piattaforma applicativo inoltre basa le strategie di indirizzamento degli utenti non solo sulle attuali condizioni di congestione ma anche sulle emissioni acustiche che i livelli di traffico determinano. In particolare, per la determinazione degli scenari di instradamento, le emissioni acustiche da traffico veicolare vengono confrontate con i valori limite stabiliti dalla normativa. Al superamento dei valori limite, i veicoli verranno opportunamente indirizzati verso itinerari alternativi.

Per la determinazione delle emissioni acustiche sono stati utilizzati i descrittori acustici L_{den}, L_{day}, $L_{evening}$ e L_{night} definiti nella *EnvironmentalNoise Directive* (Direttiva 2002/49/CE), e, per quanto riguarda l’Italia, nel D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 194 (aggiornato dal D.Lgs. 42/2017), e della specifica normativa francese nel caso della città Portuale Pilota di Bastia. Per l’Italia, sono stati fissati i soli valori limite per L_{day} e L_{night}; tali valori limite sono riportati nel DPCM 14/11/1997.

Sono considerate considerate le sole emissioni acustiche e non anche le immissioni acustiche.

Il calcolo delle emissioni acustiche è stato sviluppato mediante un’applicazione del modello Harmonoise e della metodologia CNOSSOS-EU (stabilita dalla normativa).

Il modello Harmonoise utilizzato è descritto nel dettaglio nel rapporto: Nota R., Barelds R., Van Maercke D., 2005. *Harmonoise WP 3 Engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine-tuning*. Technical Report HAR32TR-040922-DGMR20.Harmonoise project consortium Editions, Brussels.

La metodologia CNOSSOS-EU è descritta nel dettaglio nella Direttiva europea n°996 del 2015: Gazzetta Ufficiale della Comunità Europea, Direttiva (UE) 2015/996 della Commissione, del 19 maggio 2015.

I dati di traffico, in particolare i flussi veicolari distinti per tipologie e per velocità dei veicoli, necessari per il calcolo delle emissioni acustiche, sono forniti dal sistema di monitoraggio del traffico con telecamere, radar recorder laser o spire, previsto nel sistema di Info-Mobilità con PMV, ed a cui la “piattaforma software/applicativo” si interfaccia.

Considerato che il modello Harmonoise e la metodologia CNOSSOS-EU richiedono un numero molto elevato di dati di input, ben maggiori di quelli forniti dalle telecamere sono state apportate le opportune semplificazioni alla metodologia di calcolo.

La “piattaforma software/applicativo”, implementa al suo interno il modello per la determinazione delle emissione acustiche da traffico, si integrata sia con la App LIST Port, sia con il sistema di Info-Mobilità con PMV e con sistema di monitoraggio del traffico. Tale “piattaforma software/applicativo” estende la App LIST-PORT, sviluppata univocamente, alle 4 città portuali pilota e con 4 i sistemi di Info-Mobilità con PMV (comprensivi questi ultimi anche del sistema di monitoraggio del traffico). Il sistema è stato realizzato per:

a) implementare un modulo software/applicativo che codifichi in un modello eseguibile le funzionalità di stima delle emissioni acustiche secondo il modello Harmonoise;
b) integrare il modulo di stima delle emissioni acustiche nel sistema di back-end della App LIST Port (piattaforma myMaaSemiXer);
c) integrare nel back-end della App LIST Port (piattaforma myMaaSemiXer) delle funzionalità software necessarie all’estensione dei criteri decisionali di indirizzamento dei flussi veicolari utilizzando le previsioni del modulo di stima delle emissioni acustiche.
d) Integrare nel back-end del sistema Info-Mobilità con PMV LIST Port (piattaforma myMaaSemiXer) le funzionalità software necessarie all’estensione dei criteri decisionali di indirizzamento dei flussi veicolari utilizzando le previsioni del modulo di stima delle emissioni acustiche.

I criteri e le strategie di indirizzamento dei flussi sulla base delle condizioni di congestione e delle emissioni acustiche da applicare nelle città-porto pilota sono quelle definite nel paragrafo 3.3 e sono state implementate e integrate nell’applicazione del modello decisionale in maniera coerente con tali criteri e strategie.

SEZIONE II. ELEMENTI PER LA STESURA DELLE LINEE GUIDA

1. ABSTRACT

L'obiettivo generale del progetto List Port **"Limitazione Inquinamento del Rumore generato dal Traffico nei Porti commerciali"** è quello di contribuire alla riduzione dell'inquinamento acustico causato dai flussi veicolari connessi alla presenza dei porti commerciali nelle città portuali mediante l'utilizzo di sistemi ITS che agiscono sulla gestione del traffico veicolare.

L'obiettivo della ricerca è valutare in che modo le applicazioni ITS per la gestione dei flussi di traffico possono incidere sulla riduzione dei valori di immissione sonora in ambito portuale ed urbano.

Il presente report, prodotto **T2.7.1 "Report dei parametri caratteristici per linee guida",** contiene gli studi e le analisi derivanti dall'esperienza del progetto LIST-PORT contenente i parametri necessari per la successiva elaborazione di linee guida per standardizzare e replicare gli interventi sulle città portuali finalizzate alla riduzione dell'impatto acustico con i sistemi ITS.

Questo documento definisce una metodologia comune da adottare per l'acquisizione dei parametri acustici ambientali delle città pilota sulle quali si intende replicare il progetto LIST-PORT. Viene data una procedura sulla completezza dei rilievi e quali conseguenze comportano le errate o non idonee acquisizioni dati per la definizione del modello acustico ambientale che si intende investigare e successivamente implementare attraverso i modelli predittivi che utilizzano le reti neurali. Vengono pertanto sistematizzate le prime indicazioni per individuare una metodologia comune finalizzata alla implementazione, in contesti analoghi, di un sistema di riduzioone del rumore su whaterfront portuali basato su sistemi ITS con PMV e APP di ausilio agli utenti.

2. METODOLOGIA PER L'INDAGINE ACUSTICA

2.1 L'INDIVIDUAZIONE DELL'APPROCCIO METODOLOGICO

A partire da quanto sviluppate nelle attività delle componenti T1 e T2 si può tracciare un bilancio delle attività svolte e trarne le indicazioni di metodo utili ad approcciare la problematica del rumore in prossimità delle aree portuali nelle città costiere, considerando che, in merito, non sono ancora state definite procedure standardizzate. L'ipotesi allo studio è un sistema di gestione e regolazione dei flussi veicolari adattato alla specificità del traffico portuale, caratterizzato da notevoli fluttuazioni di composizione ed intensità entro intervalli temporali molto ristretti. Si vogliono integrare in un unico sistema ITS procedure agili di supporto e verifica delle azioni intraprese in ambito trasportistico volte a dirigere e incanalare il traffico sulla base di analisi dei dati "*quasi"* in tempo reale. Tali procedure di supporto si avvalgono dell'applicazione di:

- un **modello predittivo (dinamico)**, in grado di restituire 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 sulle sezioni stradali che sono state oggetto di indagine sperimentale.
- una **ricostruzione spaziale del clima acustico** basata su un modello fisico di propagazione (statico).
- un **modello per l'analisi e la previsione dei flussi veicolari**.

L'elaborazione di questi modelli è parte integrante della ricerca e la possibilità di una loro applicazione, in particolare del modello predittivo dinamico, ha orientato e qualificato lo svolgimento dell'ipotesi di lavoro soprattutto per quanto riguarda la città di Olbia.

Al fine di definire un profilo metodologico unitario incentrato sull'applicazione di questi modelli previsionali, si mettono di seguito in evidenza, ripercorrendo le fasi fondamentali delle attività descritte nella presente sezione II, alcuni aspetti ritenuti essenziali.

Il primo step, imprescindibile, è l'indagine conoscitiva della realtà urbana e del suo sottosistema portuale nel quale si intende intraprendere azioni di mitigazione del rumore. Ogni città costiera caratterizzata dalla presenza di uno scalo portuale presenta proprie specificità che devono essere individuate e attentamente valutate. Devono pertanto essere studiate le dinamiche intrinseche del sistema dei trasporti e condotte campagne mirate per la misurazione dei flussi di traffico in stretto coordinamento con il monitoraggio del rumore ambientale in un insieme di intervalli temporali sufficientemente ampio. Lo svolgimento di questa fase del progetto consente di acquisire un rilevante corpus di dati rappresentativo dell'ambiente indagato, dal quale emergono chiaramente la correlazione

traffico – rumore, il contributo preponderante del traffico veicolare al rumore ambientale e la variabilità stagionale del fenomeno. Occorre, ad livello d' orientamento generale, che le risorse strumentali per il monitoraggio siano ottimizzate per la costituzione di un dataset sperimentale che ben rappresenti la variabilità ed la dinamica in modo sufficientemente ampio.

I dati acquisiti sono stati sottoposti a verifica di coerenza ed affidabilità e analizzati per estrapolare i trend ed i range di variabilità delle grandezze in esame. Dopo una prima fase di omogeneizzazione gli stessi dati sono stati impiegati come input per lo sviluppo del modello predittivo traffico – rumore per il quale si è fatto ricorso agli algoritmi delle reti neurali. L'algoritmo è volto a cogliere e riprodurre la correlazione intrinseca tra traffico e rumore sussistente a livello fisico nello specifico contesto. La verifica dei dati è pertanto di fondamentale importanza per individuare, al netto dell'incertezza intrinseca dei sistemi di misura, incongruenze ed errori che possono portare a risultati contradditori e fuorvianti.

Le prove di calcolo e di taratura del modello hanno inoltre mostrato come sia necessario che nel monitoraggio preliminare sia garantita la contiguità spaziale tra le sezioni di rilievo dei flussi di traffico e le postazioni fonometriche di rilievo del rumore e che i dati di input così acquisiti siano riorganizzati secondo una congrua raffinatezza temporale. Per avere prestazione dell'algoritmo soddisfacenti è insomma necessario operare su scansioni temporali ristrette (ad. esempio 1 min.) e circoscrivere localmente l'area di studio. Per quanto il modello possa essere "robusto", la sua performance e di conseguenza la sua applicabilità calano infatti significativamente con dati di ingresso dispersi e debolmente correlati.

Val la pena osservare che tale indicazione di metodo, valida nell'ottica dello sviluppo di un modello euristico, si discosta da un approccio più convenzionale, generalmente volto a caratterizzare gli archi stradali con valori dei parametri di riferimento mediati su intervalli e periodi più o meno lunghi, suffragati quindi da un'ampia base statistica.

Ad integrazione di questa prima fase di modellizzazione, i dati di rumore e di traffico acquisiti sono stati successivamente impiegati per la calibrazione di un modello fisico di propagazione che ha restituito la mappatura acustica del waterfront portuale tramite curve di isolivello sonoro. Tali rappresentazioni sono state costruite su piattaforma software di derivazione commerciale, assegnando alle sorgenti stradali i valori dei flussi di traffico rilevati, in accordo con lo standard europeo CNOSSOS-EU. La buona sovrapponibilità dei valori simulati nei punti di controllo coincidenti con le postazioni di

rilievo fonometrico hanno consentito di avere un feed-back positivo sulla corretta applicazione del modello fisico di propagazione.

In una procedura standardizzata le mappe acustiche potrebbero avere la funzione di rappresentare la distribuzione spaziale dei livelli di pressione sonora corrispondente ad un dato scenario di traffico e di stimare/valutare in questo modo il valore degli indicatori acustici in punti non direttamente monitorati e non direttamente oggetto di previsione nel modello dinamico. Le mappe acustiche, validate tramite misure sperimentali nei punti di controllo, possono anche rappresentare l'andamento del rumore nello spazio fisico per ogni scenario di riassetto del traffico ipotizzato nelle strategie di regolazione.

Per costruire il modello del traffico sono stati successivamente eseguite ulteriori misure dei flussi veicolari orientate a valutare i livelli di congestione delle principali strade collegate con il sistema viario del porto nonché la distribuzione oraria ed il traffico giornaliero medio.

La costruzione del modello di simulazione del traffico è avvenuta con l'impiego del software SUMO con il quale sono stati anche prefigurati alcuni scenari di riassetto del traffico a seguito di interventi di re-routering con sistemi di info-mobilità. Nel modello di rete neurale sono stati inseriti in input i dati di simulazione del traffico restituiti dal software SUMO per alcune ipotesi di regolazione dei flussi con invio di specifici messaggi sui PMV. Analiticamente sono stati quindi quantificati i possibili miglioramenti in termini di abbassamento dei livelli di pressione sonora nei punti di controllo.

Per testare il modello neurale su uno scenario differente, in una seconda fase l'algoritmo è stato applicato al caso dell'area portuale di Cagliari traendone ulteriori indicazioni sulle potenzialità, sui limiti del modello e sulle metodologie necessarie alla sua implementazione.

Il complesso delle azioni messe in campo per affrontare il problema del rumore da traffico portuale ha sin qui avuto riscontri positivi. Gli step prima descritti, anche con i contributi derivati da contesti e modalità operative differenti, possono costituire la traccia per una procedura comune, esportabile anche ad altre realtà, in cui far convergere i diversi apporti nel campo della modellistica e della pianificazione dei trasporti. Ulteriori indicazioni verranno dalla messa in opera del sistema di gestione e regolazione che consentirà anche di verificare l'efficacia delle azioni di mitigazione intraprese.

2.1.1 Vademecum metodologie di monitoraggio

Di seguito si riportano alcune annotazioni utili per la programmazione e l'esecuzione del monitoraggio del clima acustico e dei flussi di traffico.

2.1.1.1 Definizione dell'area di studio.

La pianificazione delle attività di monitoraggio deve comprendere l'accurata definizione dell'area di studio rispetto alla quale si vogliono intraprendere le azioni di gestione e regolazione dei flussi. In tal senso devono essere anzitutto individuate le banchine di attracco delle navi passeggeri e delle navi merci ed i possibili percorsi stradali di accesso/egresso dall'area portuale. Con analogia termodinamica, si possono definire le aree portuali come "sistemi aperti" in continuo scambio con le aree adiacenti. L'obiettivo è supportare i processi decisionali con un modello che sia in grado di cogliere le dinamiche reali dei flussi di traffico, in particolare di quello indotto dalle attività del porto. È quindi necessario definire un "area di controllo", monitorare i flussi in ingresso ed in uscita su un certo intervallo temporale, individuare le possibili sorgenti di rumore sia interne che esterne e segnalare la presenza di eventuali ricettori sensibili.

L'area di controllo deve essere un sottoinsieme del sistema urbano facilmente inquadrabile in termini di bilancio dei flussi in ingresso/uscita tenendo conto che non è richiesta un'analisi statistica per la caratterizzazione degli assi viari, utile in caso di pianificazione della mobilità e di programmazione delle infrastrutture, bensì catturare alcune istantanee delle configurazioni del traffico e del corrispondente clima acustico che esprimano una dinamica sufficientemente varia.

2.1.1.2 Definizione dei periodi di monitoraggio.

La specificità del traffico indotto dalla presenza del porto consiste in una spiccata estemporaneità e variabilità all'interno dell'anno solare, della stagione e anche della singola giornata. Le azioni del progetto mirano proprio a correggere gli effetti di questa variabilità per minimizzarne le ripercussioni negative sul clima acustico. Per cogliere le dinamiche che si instaurano nel waterfront occorre pertanto programmare il monitoraggio tenendo conto della seguente periodizzazione:

- **periodo di morbida - periodo di punta**. I periodi dell'anno da caratterizzare devono essere attentamente valutati con le autorità di gestione del porto acquisendo preventivamente i dati del traffico marittimo su base annuale. Oltre alle partenze ed agli attracchi delle navi devono essere considerati altri fattori che possono determinare incrementi o decrementi del traffico medio giornaliero anche in dipendenza della vocazione dello scalo e della città portuale a seconda che si caratterizzino come scalo passeggeri o commerciale, centro industriale o città turistica.
- **giorno – sera - mattina**. L'andamento dei parametri monitorati deve coprire l'intero

arco delle 24 ore per più giorni in modo da cogliere le variazioni orarie tipiche sia nel periodo di morbida sia nel periodo di punta.

- **giorni festivi- giorni feriali.** Per ciascuna città indagata è utile cogliere le variazioni complessive e per fasce orarie connesse con spostamenti per attività lavorativa, scuole etc...

2.1.1.3 Individuazione delle sezioni stradali interessate al monitoraggio.

Idealmente le sezioni di monitoraggio dovrebbero restituire tutti i valori dei passaggi veicolari che contribuiscono alla definizione del clima acustico delle aree portuali e peri-portuali, al netto del rumore ambientale di fondo o del rumore proveniente da altre fonti. Nella pratica ciò potrebbe essere, per tanti motivi, di difficile realizzazione, in primis per la conformazione e/o l'eccessiva estensione dell'area di studio e nondimeno per insufficienti risorse strumentali per eseguire le misurazioni.

Certamente per ottimizzare la scelta delle sezioni stradali è necessaria un'attenta preventiva valutazione della rete viaria e dei flussi e, nel caso, una ridefinizione dell'area di controllo.

In generale il posizionamento deve essere orientato a:

- definire globalmente tutti i flussi di traffico nell'area di studio
- definire globalmente i flussi veicolari che potenzialmente possono apportare un contributo al livello sonoro in una data postazione fonometrica;
- definire i punti di rilievo strategici di monitoraggio di ingresso/uscita dall'area di studio.
- definire strategicamente un numero minimo di sezioni di controllo da cui poter ricavare analiticamente i flussi sugli assi stradali non direttamente monitorati.
- definire i percorsi alle intersezioni.

La completezza dei dati di traffico afferenti all'intera area in esame ed in particolare ad una data postazione di rilievo fonometrico, come emerso ampiamente nel corso della sperimentazione, è condizione necessaria per lo sviluppo dei modelli previsionali. Se la previsione del livello sonoro in concomitanza delle fasi di imbarco/sbarco e/o a seguito degli interventi di reindirizzamento è riferita a quella postazione di monitoraggio, affinché la rete neurale auto-apprenda, nel dataset la correlazione traffico – rumore per quella postazione non può essere labile e sfumata.

2.1.1.4 Individuazione delle postazioni di rilievo fonometrico.

La scelta delle postazioni di rilievo fonometrico assume particolare importanza. I punti

di misura, in genere del tipo “sorgente orientata”, devono essere rappresentativi dell’area di studio e quindi devono essere strategicamente posizionati in funzione delle sezioni di rilievo dei flussi di traffico, in modo da correlare direttamente l’emissione sonora al traffico veicolare.

In generale la natura delle sorgenti acustiche in prossimità delle postazioni di misura può essere la più diversa: possono aversi prevalentemente veicoli in movimento a velocità elevata e costante ovvero veicoli a bassa velocità ed in manovra, spesso in condizioni di traffico congestionato, possono anche aversi condizioni di traffico veicolare erratico oltre alle sorgenti dovute alle attività antropiche (attività commerciali, ristorazione, svago etc…) o di altra origine.

Già in questa fase è importante identificare i possibili disturbi delle sorgenti extra-traffico e posizionare le apparecchiature in modo, se non proprio da annullarne gli effetti, quantomeno da minimizzarli. Pure importante è saper discriminare gli intervalli temporali in cui questi disturbi si manifestano.

Un’altra importante verifica riguarda il valore del rumore ambientale di fondo che deve essere sufficientemente basso da non mascherare il segnale emesso dalle sorgenti veicolari.

I modelli predittivi di tipo dinamico contemplano comunque la capacità di saper riconoscere, entro certi limiti, il rumore ambientale di fondo.

Nell’ambito dell’area di studio i punti di rilievo fonometrico devono essere “di frontiera”, cioè punti potenzialmente di maggiore esposizione al rumore da traffico rispetto ad altri più “interni”, in modo che le azioni di mitigazione possano essere verificate e monitorate in queste sezioni assumendo che, al netto di altri fattori, gli effetti positivi della mitigazione siano riscontrabili anche in altri punti non direttamente monitorati.

Questi aspetti potranno essere eventualmente verificati tramite misure sperimentali a campione.

2.1.1.5 Corrispondenza misure di traffico e rumore.

I risultati ottenuti dal modello suggeriscono innanzitutto la necessaria reale corrispondenza fisica tra le matrici dei rilievi sperimentali di traffico e quelle dei livelli equivalenti di rumore. L’intervallo temporale di misurazione dei parametri acustici e dei flussi di traffico deve pertanto coincidere.

La raffinatezza della scansione temporale deve essere opportunamente accordata tra le due tipologie di rilievo affinché i valori restituiti per ciascun intervallo temporale esprimano adeguatamente il rapporto causa-effetto tenendo conto delle modalità

specifiche di propagazione acustica in campo aperto.
Gli indicatori di rumore su cui basare l'analisi sono il livello equivalente senza filtro di ponderazione, Leq, ed il livello equivalente con curva di ponderazione A, LeqA, unitamente ai corrispettivi valori in frequenza in bande di terzi di ottava.

2.1.2 Tipologia di interventi di riduzione

Gli interventi di riduzione del rumore a seguito di interventi di gestione e regolazione del traffico rappresentano il punto di convergenza delle attività del progetto. Si tratta di mettere a punto un sistema ITS di infomobilità basato su PMV (Panel Message Variable), 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 il porto.
L'analisi di eventuali scenari di riassetto del traffico deve tener conto del fatto che le caratteristiche dei possibili itinerari di accesso/uscita al/dal porto sono invarianti. Infatti non è possibile modificare la larghezza delle sedi stradali introducendo fattori di incremento della capacità viaria oppure realizzare nuova viabilità di accesso al porto stesso. Tale analisi deve partire dai risultati locali della simulazione condotta sull'intera viabilità principale della città e dopo aver esaminato, tramite rilevazione dei flussi, i livelli di congestione, di incidentalità e le concrete possibilità di ridistribuzione nei vari rami di accesso/egresso al/dal porto.
Il sistema dovrà indicare la messaggistica predisposta 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 messaggi 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.
Oltre ai sistemi di informazione all'utente è fondamentale prevedere un adeguata rete di rilevazione dei flussi di traffico. Con il monitoraggio continuo sarà possibile rilevare le condizioni di criticità (elevati flussi veicolari e quindi elevati emissioni di rumore) e quindi inviare con i PMV messaggi che avvisano gli utenti e ne reindirizzano gli itinerari. Per essere efficaci i sistemi di monitoraggio del traffico, devono essere previsti lungo le arterie stradali che presentano maggiore probabilità di congestione sia in base all'analisi modellistica e le rilevazioni di traffico effettuate, sia attraverso un confronto diretto con le amministrazioni locali.

2.1.3 Vademecum/metodologie per l'applicazione dei metodi previsionali.

Per mettere in atto le azioni di gestione e regolazione del traffico, come esposto in precedenza, sono stati sviluppati modelli predittivi di supporto. I modelli, una volta calibrati, consentiranno di prefigurare determinati scenari di traffico nelle ore di punta di imbarco e sbarco delle navi passeggeri, di valutare i flussi (nelle sue componenti caratteristiche) sulle singole sezioni della rete stradale nonché di prevedere i livelli sonori correlati.

In modelli sono stati testati con i dati del periodo di morbida e del periodo di punta con risultati positivi in termini di attinenza delle previsioni e robustezza delle procedure. Il modello predittivo basato sulle reti neurali è stato testato anche con dati di input relativi ad un'altra città portuale proprio per verificarne l'affidabilità. Si dispone pertanto di un bagaglio di osservazioni e di esperienze che consente di esplicitare importanti spunti metodologici.

La condizione necessaria affinché il modello neurale possa essere sviluppato è innanzitutto la **corrispondenza fisica tra le matrici dei rilievi sperimentali di traffico e quelle dei livelli equivalenti di rumore** in assenza di altre rilevanti fonti di disturbo, secondo una congrua scansione temporale dei dati. In altre parole: i dati devono esprimere implicitamente un rapporto causa – effetto.

La presenza di attività generatrici di rumore non direttamente riconducibili al traffico può abbassare le prestazioni della rete neurale perché invalida questo rapporto. Tali contributi devono essere possibilmente minimizzati. Se questo non è possibile è lecito aspettarsi un certo degrado delle prestazioni del modello nella sua capacità di predire gli andamenti relativi ai periodi in cui si ha un notevole incremento di attività rumorose "extra-traffico". Questi incrementi devono essere quantomeno riconosciuti negli intervalli temporali in cui si verificano.

Nello studio pilota per la città di Olbia il degrado delle prestazioni è stato comunque marginale rispetto all'entità delle perturbazioni generate dalle attività antropiche nei pressi dei punti di controllo. Questo aspetto ha confermato 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. 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.

Il data set del traffico veicolare e del rumore ad esso associato deve esser riferito ad un intervallo temporale sufficientemente esteso per poter sezionare nelle timeline

della misura i necessari intervalli deputati al training, al testing ed alla fase di validazione. Si può considerare un intervallo temporale minimo pari a 72 h che comprenda la tipica variabilità diurno - notturno.

Il metodo delle reti neurali si basa infatti su una fase preliminare, denominata procedura di addestramento "training procedure" secondo la quale 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'algoritmo 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. Una volta che la procedura di addestramento è completata, i parametri interni della rete sono numericamente determinati e quindi assumono valori costanti non più modificabili.

La strategia che ha prodotto risultati qualitativamente migliori è denominata "*single time span*" ed è basata sull'individuare un unico intervallo di tempo continuo all'interno del periodo di misura, di sufficiente estensione, per garantire che le configurazioni di traffico e di andamento del rumore esibiscano una dinamica sufficientemente ampia. Questo intervallo continuo viene preso in considerazione per l'addestramento, mentre gli istanti di tempo esclusi dall'intervallo di training vengono considerati per la seconda fase di validazione-test. Nel caso studio della città di Olbia, ad esempio, con i dati articolati con scansione temporale di un minuto, l'algoritmo della rete neurale è stata settato per un training set su un intervallo di 1.400 minuti e 3.600 minuti per la fase di testing. In sostanza **è necessario che la fase di addestramento avvenga su un numero di campioni statisticamente rappresentativo delle possibili configurazioni di traffico-rumore**, **che sia cioè già presente un corredo di valori comprendente i massimi ed i minimi e ciò può avvenire quanto più il monitoraggio ha colto il range di variabilità delle grandezze in esame**.

È infatti appurato che non è buona strategia testare l'abilità di generalizzazione della rete con nuove configurazioni di input i cui dati siano fuori dal range degli ingressi con cui la rete è stata precedentemente testata. In questa evenienza, da scongiurare, l'apprendimento potrebbe essere inefficace oppure troppo lento.

L'intero set dei dati sperimentali del flusso veicolare deve comunque essere 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.

Un altro aspetto da non sottovalutare riguarda la necessità di **abbinare correttamente i dati di traffico delle diverse sezioni ad una data postazione di rilievo fonometrico**. Nel caso degli ambienti urbani come quelli oggetto di studio i contributi alla determinazione dei livelli sonoro possono essere attribuiti a diverse sezioni stradali. Si pensi ai casi delle intersezioni stradali quali incroci, rotatorie, svincoli con strade sopraelevate con diverse rampe di accesso. Una casistica che si è presentata anche per la città di Olbia: alla postazione di rilievo del rumore in corrispondenza della rotatoria Sacro Cuore (Pos. A) potevano associarsi diverse postazioni di misura del traffico atte a rilevare i passaggi dei veicoli nelle diverse sezioni della vicina infrastruttura di svincolo da e verso la banchina portuale.

Risulta innanzitutto importante disporre di una raccolta di dati il più completo possibile affinché la rete esprima le migliori performances in termini di accuratezza e *matching* rispetto ai dati sperimentali. Per abbinare poi le sezioni ai punti di controllo si può procedere come segue. Inizialmente la rete può venire 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 saranno 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 sarà definitiva e il set di addestramento risultante viene sottoposto nuovamente a riduzione e confronto.

Questa procedura applicata al modello predittivo della città di Olbia 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. 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.

In tema di completezza dei dati di traffico occorre anche considerare l'**ampiezza della**

dinamica delle realizzazioni del flusso veicolare durante il periodo di test, un aspetto ancora da indagare ma che influisce sul funzionamento del modello. Si tratta 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. La verifica può essere fatta con una analisi statistica dei passaggi veicolari per ogni classe e per ogni sezione stradale.

I dati dei flussi di traffico devono essere trattati cosi come questi si realizzano nel tempo, suddividendo i veicoli sulla base della lunghezza o delle categorizzazioni adottate dalla normativa, rilevando anche la velocità del singolo veicolo. Eventuali procedure di mediazione e di normalizzazione delle categorie, ad esempio rapportando i veicoli in termini di veicoli equivalenti, pur valide per le analisi in ambito trasportistico, producono un appiattimento dell'informazione ed una conseguente peggior performance della rete neurale. È importante registrare l'istante in cui l'evento del transito nella sezione di controllo si verifica in modo da cogliere l'andamento dinamico reale che poi la rete sarà in grado di correlare al dato di rumore in forma implicita. I dati dei passaggi potranno poi essere riportati su intervalli temporali più ampi. Un modello fisico di propagazione non può rappresentare questa dinamica in quanto presuppone che i veicoli che caratterizzano la sorgente di rumore stradale siano liberi di fluire.

2.1.4 Metodologia per il confronto critico dei risultati delle indagini Ex Ante-Ex Post

Le attività sperimentali del progetto, propedeutiche sia agli sviluppi e alla calibrazione delle componenti di modellazione nella fase EX – Ante e sia di validazione delle strategie di mitigazione dell'impatto acustico del traffico veicolare nella fase EX - Post, hanno permesso di individuare quali requisiti e accorgimenti occorre rispettare durante le campagne di misura per produrre dati sperimentali utilizzabili sia ai fini dello sviluppo di un modello dinamico operante nella breve scala dei tempi, con errori di predizione contenuti e sia consistenti per un confronto diretto dei climi acustici delle fasi EX Ante ed Ex - Post ai fini della quantificazione dei benefici di determinate azioni di mitigazione, rispetto alle due condizioni di riferimento.

I seguenti aspetti si sono rivelati essenziali

a. Sincronizzazione delle acquisizioni dei dati di composizione e intensità dei flussi veicolari, contemporaneamente a quelle dei valori di pressione sonora,
b. Monitoraggio dei tratti stradali in entrata e in uscita dal porto che danno accesso al waterfront cittadino. In particolare, occorre individuare una serie di volumi di controllo, all'interno del waterfront portuale, che oltre ad incorporare i test point acustici, siano

anche delimitati da superfici di controllo che siano risultano intersecate dalle direttrici stradali preferenziali, che danno accesso al Waterfront urbano, in cui posizionare i misuratori del flusso del traffico.

c. Includere nell'algoritmo di modellazione traffico – rumore le principali fonti di congestione del traffico come gli incroci e le rotonde segnalate lungo il waterfront portuale.
d. Individuazione di periodi di misura distinti che siano rappresentativi dei diversi comportamenti stagionali del clima acustico del sito con una durata senza soluzione di continuità non inferiore a 3 giorni.
e. Risoluzione temporale dell'elaborazione e della memorizzazione dei dati misurati non inferiore a 5 secondi per i dati del rumore e non inferiore al minuto per i dati di traffico. Classificazione della composizione del flusso veicolare per classi di appartenenza, numerosità e velocità per classe.
f. Utilizzo delle stesse postazioni per tutte le campagne di misura, nei diversi periodi di riferimento considerati (periodo di punta, di morbida sia della fase Ex Ante che della fase Ex – Post).
g. Esecuzione delle campagne di misura in assenza di sorgenti rumorose attribuibili ad attività non correlabili con la realizzazione temporale degli andamenti del flusso veicolare. Quando i rilievi sono influenzati dal funzionamento di tali sorgenti i risultati non potranno essere direttamente utilizzati per il processo di modellazione e per quantificare l'effetto di mitigazione derivante dalla messa in opera di strategie di mitigazione come, ad esempio, l'utilizzo di materiali fonoassorbenti nella pavimentazione stradale.
h. individuazione di strategie di regolazione e controllo del traffico veicolare secondo profili prestabiliti che devono poter essere realizzati durante alcuni sub periodi sia della fase Ex – Ante che Ex – Post. Questo accorgimento è finalizzato alla determinazione di un confronto dei climi acustici durante la fase EX – Post ed EX _Ante che sia consistente in quanto basato su intervalli di misura direttamente confrontabili. Un confronto consistente permette di isolare e quantificare gli effetti di eventuali strategie di mitigazione che direttamente intervengono sulle sorgenti e sul meccanismo di propagazione del rumore, a parità di condizioni di flusso del traffico veicolare.

Occorre precisare che quest'ultimo requisito è stringente per condurre confronti significativi, purtroppo non è certamente di facile realizzazione. Durante lo sviluppo del progetto della fase Ex - Post, le attività di acquisizione dei livelli di pressione sonora e del flusso veicolare sono state condotte nei medesimi punti di misura utilizzati durante la fase EX-Ante e mantenendo la simultaneità della catena dei rilievi di traffico rispetto alla

catena dei rilievi acustici. Sebbene i due periodi di riferimento (EX – Ante ed EX Post) del progetto possano ritenersi equivalenti per quanto riguarda le posizioni e la durata dei rilievi, tuttavia occorre precisare che in entrambi i casi le condizioni operative a cui ci si è dovuti riferire sono quelle di assenza di flusso libero della portata veicolare e di transitorietà del regime di moto. Queste sorgenti di variabilità che compromettono il realizzarsi del requisito «a parità di altre condizioni» non facilitano certamente un confronto diretto delle due campagne di misura e impongono quindi l'utilizzo di post - elaborazioni per riportare i risultati a delle condizioni che possano essere ritenute di riferimento per entrambe le campagne di misura. Questa strategia deve essere finalizzata ad individuare, lungo la time line di misura, eventi di pari intensità veicolare dove sia possibile confrontare i valori del livello di pressione sonora del periodo EX- Post rispetto al valore del periodo EX-Ante.

Indice delle Figure

Figura I.1: L'architettura del sistema ITS LIST-PORT 5
Figura I.2: individuazione delle città portuali pilota del progetto LIST-PORT 13
Figura I.3 Sezioni di rilievo Olbia 14
Figura I.4 Sezioni di rilievo Bastia 14
Figura I.5 Sezioni di rilievo Piombino 15
Figura I.6 Sezioni di rilievo Vado Ligure 15
Figura I.7: confronto flussi di traffico estate autunno 2019 Olbia 15
Figura I.8: confronto flussi di traffico estate autunno 2019 Bastia 16
Figura I.9: confronto flussi di traffico estate autunno 2019 Piombino 16
Figura I.10: confronto flussi di traffico estate autunno 2019 Vado Ligure 17
Figura I.11: Schematizzazione del grafo della Rete stradale di Vado Ligure 18
Figura I.12: Schematizzazione del grafo della Rete stradale di Piombino 18
Figura I.13: La zonizzazione di Bastia 18
Figura I.14: Il modello caricato e la zonizzazione di Olbia 18
Figura I.15: Correzione iniziale della matrice O/D relativo al periodo autunnale mattutino (OLBIA) 19
Figura I.16: Correzione iniziale della matrice O/D relativo al periodo estivo mattutino (BASTIA) 19
Figura I.17: Simulazione dinamica con la presenza di code (OLBIA) 19
Figura I.18: Simulazione dinamica con la presenza di code (Piombino) 19
Figura I.19: La distribuzione dei flussi di traffico (Olbia) 20
Figura I.20: simulazione dinamica del nodo di accesso al porto di Olbia 20
Figura I.21: La distribuzione dei flussi di traffico (Bastia) 20
Figura I.22: simulazione dinamica (Bastia) 20
Figura I.23: simulazione Criticità del molo 5 (Piombino) 21
Figura I.24: simulazione code che risalgono fino a viale Unità d'Italia (Piombino) 21
Figura I.25: simulazione Criticità Porto di Vado Ligure 21
Figura I.26: simulazione Criticità Intersezione semaforizzata tra via Caduti per la Libertà con Aurelia (Vado Ligure) 21
Figura I.27: estratto del Piano di Classificazione Acustica della città di Olbia 23
Figura I.28: estratto del Piano di Classificazione Acustica della città di Piombino 23
Figura I.29: Piano di Classificazione Acustica del Comune di Vado Ligure- zonizzazione acustica della porzione di territorio interessato dalle analisi 24
Figura I.30: postazioni di rilevamento acustico Comune di Olbia 24
Figura I.31: postazioni di misura del livello di pressione sonora del rumore nella Città di Olbia 25
Figura I.32: postazioni di rilevamento acustico Comune di Bastia 25
Figura I.33: postazioni di rilevamento acustico nel Comune di Piombino - periodo di punta 26
Figura I.34: posizioni di rilevamento del traffico veicolare nel Comune di Vado ligure 26
Figura I.35: Mappe acustiche della città di Piombino 29
Figura I.36: Mappe acustiche della città di Olbia 29
Figura I.37: Mappe acustiche della città di Olbia 30

Figura I.38: Mappa dell'area portuale di Piombino e delle zone limitrofe, con indicazione dei tre gate di accesso al porto (in rosso) e dell'"area polmone" (in blu).....38
Figura I.39: Localizzazione del PMV1.....38
Figura I.40: Esempio di messaggi che il PMV1 potrebbe riportare in caso di non congestione.....39
Figura I.41: Esempio di messaggi che il PMV1 potrebbe riportare in caso di congestione. 39
Figura I.42. Itinerari principali ed alternativi.....40
Figura I.43. Rotatoria di Montesoro.....41
Figura I.54 – Architettura del sistema (es. Piombino) 44
Figura I.55 Posizionamento telecamere (es. Piombino).....45
Figura I.56 Modelo telecamera(es. Piombino) 45
Figura I.57 T.1 Viale Dalla Chiesa (es. Piombino) 45
Figura I.58 T.2 Viale Unità d'Italia (es. Piombino).....45
Figura I.59 T.3 Viale Unità d'Italia (es. Piombino).....45
Figura I.60 T.4 Viale Unità d'Italia (es. Piombino).....45
Figura I.61: Posizionamenti dei due PMV (es. Piombino).....46
Figura I.62: Foto-inserimento PMV in Viale Margerita (es. Piombino) 47
Figura I.63: Foto inserimento PMV in S.P. della Principessa (es. Piombino).....47
Figura I.64: Piattaforma TMacs.....48
Figura I.52 Struttura generale della app.....49
Figura I.53: Integrazione della app con il sistema ITS dei PMV.....50

Indice delle Tabelle

Tabella I.1: schema temporale sinottico delle rilevazioni acustiche effettuate 27