

MONACUMEN



Quaderni di analisi
dell'impatto acustico dei porti
Cahiers d'analyse de bruit des ports
n.3

PROGETTO MON ACUMEN *PROJET MON ACUMEN*

“MONitorage Actif Conjoint Urbain-MaritimE de la Nuisance”

Autorità del Sistema portuale del Mar Tirreno Settentrionale - sede di Livorno
Scali Rosciano 6/7, Livorno

Progetto/*Projet* n. 154
CUP B52H17000770003

Componente C – Comunicazione ***Composante C - Communication***

**Attività C.2 - Analisi delle best practices
sull'inquinamento acustico dei porti**
***Activité C.2 - Analyse des meilleures pratiques en matière de pollution
sonore dans les ports***

**Prodotto C.2.1 – Quaderni di Analisi dell’impatto
acustico dei porti**
Produit C.2.1 - Cahiers d'analyse de bruit des ports

Data di consegna prevista/*Date de livraison prévue*: 07/2021
Data di consegna effettiva/*Date de livraison réelle*: 07/2021

Organizzazione responsabile / *Organisation responsable*:
Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana, Università degli Studi di Genova

Livello di diffusione <i>Niveau de diffusion</i>		
PU	Pubblico/ <i>Public</i>	X
CO	Confidenziale, solo per i partner/ <i>Confidentiel, seulement pour les partenaires</i>	

Numero della documentazione da consegnare / Nombre de documents à livrer:	C.2.1
Responsabile della documentazione da consegnare / Responsable de la documentation à livrer:	ARPAT, UNIGE
Componente/Composant:	C – Comunicazione/ <i>Communication</i>

Revisione del Documento Examen de documents			
Versione Version	Data Date	Modifiche Modifications	
		Tipo di modifiche Type de changement	Modificato da Modifié de

Sintesi / Résumé
Terza delle tre pubblicazioni previste sull'inquinamento acustico dei porti, le quali intendono dare un contributo scientifico alla discussione sulla mitigazione dell'impatto ambientale generato dai porti e sull'esempio di reti di monitoraggio specifiche per tipologia di rumore. <i>Troisième des trois publications prévues sur la pollution acoustique des ports vise à apporter une contribution scientifique au débat sur l'atténuation de l'impact environnemental généré par les ports et sur l'exemple des réseaux de surveillance spécifiques au type de bruit.</i>

RACCOLTA DI DATI PER IL MONITORAGGIO DEL RUMORE DEL PORTO

Davide Borelli, Tomaso Gaggero, Davide Gaudiello, Corrado Schenone, Emile Leonard Waffo Kamdem

Abstract

The impact of noise generated by harbour activities gained a very important role in the last years. While the evaluation of the noise impact of industrial plants and transportation is fully integrated in the activities of noise mapping in urban areas, a lack of regulation exists regarding the activities carried out in ports. The complaints of citizens living close to the harbours pushed the authorities to face the problem. In this context several EU Interreg Maritime research projects have been launched in last few years. Each project is focused on a specific aspect of the problem, but all of them have in common the implementation of a network of sensors aimed to the monitoring of the noise for long periods of time. Such monitoring activity will generate a huge amount of data that must be collected, integrated and stored in a proper database in order to be accessed in a second time. The data can then be used for the management of the harbour (e.g.: by changing the docking position of ships) or to support the decision making in terms of mitigation strategies. In this paper possible ways of storing and managing the data will be described.

1 Introduzione

Il presente lavoro ha come scopo la progettazione e la realizzazione di una banca dati interoperabile impostata con un livello di accessibilità tale da garantire la partecipazione anche ai porti non direttamente coinvolti nel progetto, ma qualificati e interessati a condividere la pianificazione sul monitoraggio acustico. Questa banca dati raggruppa le informazioni che riguardano l'attività operativa reale che si svolge all'interno dei porti e il rumore prodotto. La misurazione diretta del rumore prodotto nel porto è strettamente correlata ad una corretta predisposizione dei sistemi di monitoraggio acustico che descrivono i livelli di inquinamento acustico complessivo, a beneficio dei porti stessi, delle istituzioni competenti per la tutela ambientale e della cittadinanza esposta all'inquinamento. Tutto ciò per consentire una pianificazione congiunta degli interventi di riduzione dei livelli di rumore, e permettere ai decisori portuali, nella scelta della localizzazione delle attività portuali, di programmare le operazioni secondo i principi della sostenibilità ambientale.

2 Struttura del database

Il progetto applicativo, è stato realizzato con Visual Studio 2019 Community edition, in linguaggio C#. L'applicazione è stata pensata e strutturata per poter rispondere se necessario a specifiche esigenze:

- condivisione dei dati: le informazioni memorizzate in un database devono essere accessibili da più di una persona, anche contemporaneamente;
- integrazione dei dati: un database dovrebbe essere una raccolta di dati che, almeno idealmente, non ha dati ridondanti;
- integrità dei dati: deve riflettere il senso generale dell'aspetto che si intende modellare;
-

- sicurezza dei dati: per garantire l'integrità di un database è necessario limitare l'accesso, diversificare le funzioni in base all'utente e proteggere i dati;
- astrazione dei dati: le informazioni memorizzate in un database sono solitamente un supporto per rappresentare le proprietà di alcuni oggetti;
- indipendenza dei dati: l'organizzazione dei dati deve essere trasparente e salvaguardata sia per gli utenti che per i programmi applicativi che si nutrono di dati, anche qualora venisse apportata una modifica a una parte del sistema dell'applicazione.

Il processo di progettazione del database proposta viene illustrato in maniera semplificata in figura 1 e ha al suo interno 5 classi:

- lo sviluppo del sito web vero e proprio: grazie al pattern MVC (Model-View-Controller), è stata sviluppata tutta la parte di presentation, utilizzando le potenzialità messe a disposizione dal framework .NET 4.5;
- entities: queste classi servono al solo scopo della comunicazione;
- interfaces: consente di elencare tutte le interfacce necessarie da implementare nel caso si voglia condividere i dati;
- DAL.SqlServer: in questa sezione è contenuta tutta la logica di accesso ai dati, comprese le entità del database, scritte in Entity Framework Code First, le migrazioni per poter creare ed aggiornare un database SQL Server e tutte le implementazioni delle interfacce;
- Tool.AddUser: consente di creare il primo utente attivo.

Dal punto di vista pratico, tutti gli utenti abilitati e in possesso di un computer, tablet o smartphone potranno scegliere di visualizzare i dati provenienti dal settore selezionato facendo un semplice clic sull'icona desiderata.

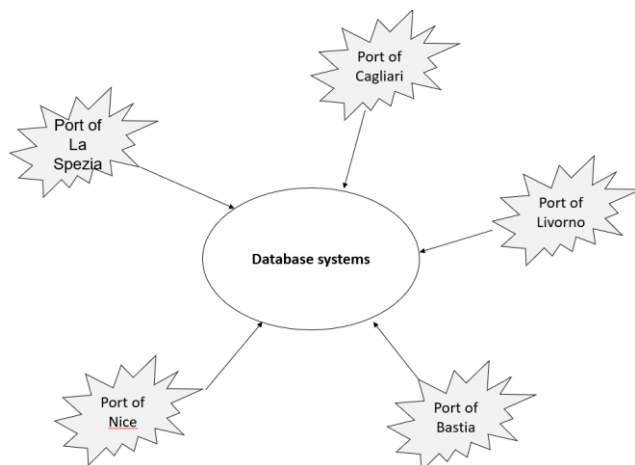


Figura 1: Design del Database.

3 Registrazione e memorizzazione dei dati

Il sistema può essere essenzialmente suddiviso in due parti (figura 2): l'unità di acquisizione dati installata nei singoli porti e l'unità di raccolta dati centralizzata allocata in un server. In dettaglio:

- l'unità di acquisizione dati installata nei singoli porti viene posizionata nei punti strategici per dare maggior indicazioni sulle responsabilità dell'emissione del rumore, ha come

compito quello dell'acquisizione dei parametri acustici e del loro invio al server di raccolta;

- l'unità di raccolta dati centralizzata ha come compito la ricezione dei dati, la memorizzazione e la loro pubblicazione in tempo reale su pagina web pubblica o protetta.

L'unità di acquisizione dati è collegata all'unità di raccolta mediante un canale di trasmissione basato sulla rete GPRS, rete Ethernet/DSL, wireless, etc... l'insieme del sistema così configurato consente l'invio dei dati attraverso il supporto di trasmissione prescelto per un tempo illimitato, mentre i documenti saranno salvati su file system.

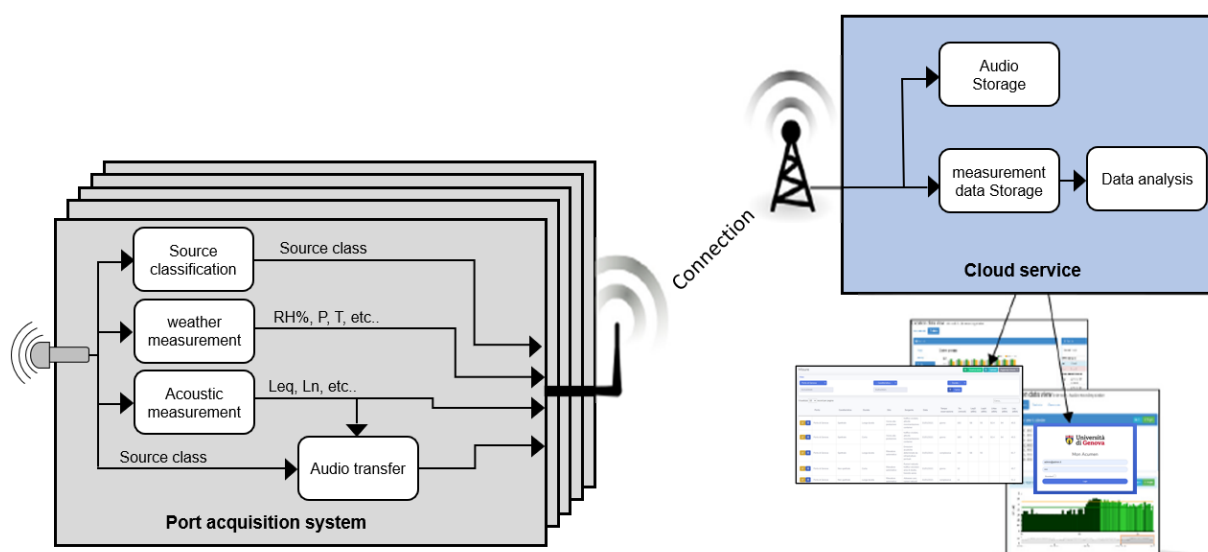


Figure 2: Funzioni del sistema di Database.

4 Gestione del database

Il database scelto è SQL Server (versione Express). Il modello del database è stato definito secondo il paradigma code first; sono state quindi scritte le classi in C# che rappresentassero gli oggetti necessari per far funzionare l'applicativo, seguentemente, grazie alle migrazioni messe a disposizione dall'Entity Framework, è stato creato lo schema del database (figura 3).

Le entità principali sono:

- utente: contiene i dati anagrafici di ogni utente; un utente può avere associati dei ruoli, e tutte le operazioni da lui svolte sono registrate nella tabella Operations log; al tempo stesso, viene tenuto il suo nominativo in tutti i documenti caricati a sistema;
- misure: contiene tutti i dati registrati a sistema; ogni misura, oltre a tutti i dati propri, è identificata da un porto e da due tipi di misure, tipicamente caratteristica e durata (ma sono comunque campi configurabili dall'utente).

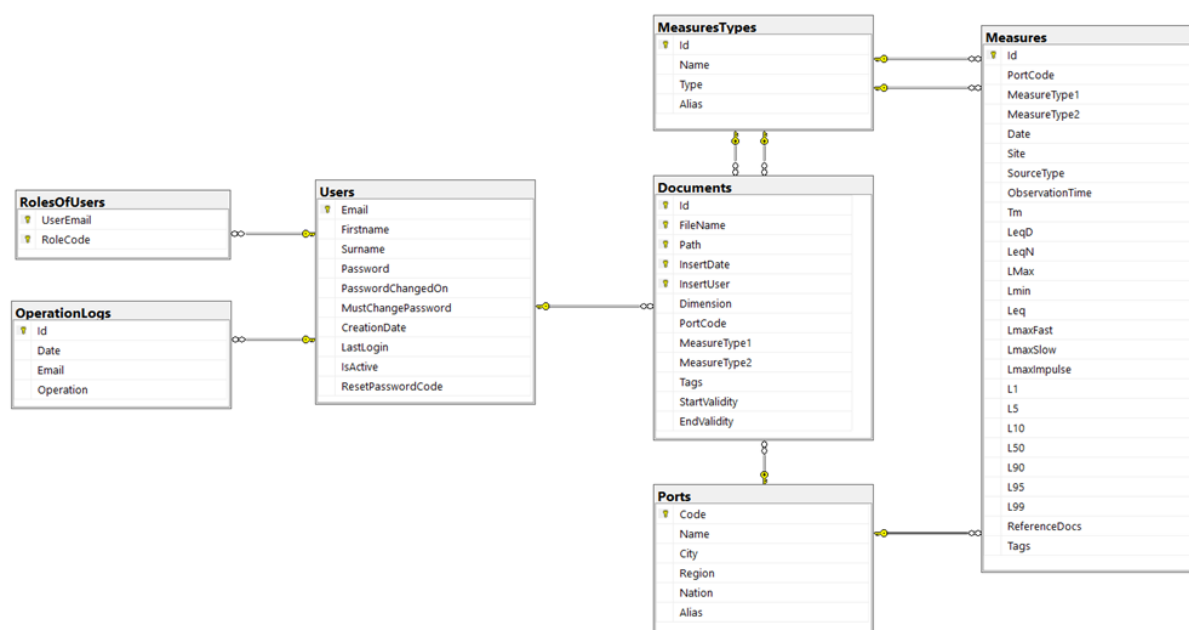


Figura 3: layout del Database.

5 Applicazioni

Tutte le misure acquisite durante le attività sono disponibili nel database in: file excel o csv, file audio WAV, file audio-video MP4 e documenti fotografici. Il database rende possibile il confronto dei dati ottenuti dai sistemi di monitoraggio acustico e meteorologico e un'interfaccia d'interscambio che facilita la condivisione transfrontaliera. Inoltre, dispone nel suo archivio dei file contenenti una matrice dei dati che consente una classificazione acustica del porto basata sulla descrizione, l'individuazione e la distribuzione nel tempo e nello spazio delle attività portuali che posso potenzialmente contribuire al clima acustico globale generato all'interno delle aree portuali. Tali attività portuali sono svolte dai mezzi che caratterizzano le principali sorgenti di rumore, che possono essere suddivisi in due gruppi: sorgenti fisse e sorgenti mobili (traffico terrestre, traffico marittimo).

Per ogni sorgente fissa vengono riportati: il tipo di sorgente, la sua collocazione nel porto, la durata operativa (orario inizio e orario fine attività), la sua distanza dai siti di misura, gli eventi sorori misurati, il numero di misure effettuato, il numero di schede realizzato e il tipo di alimentazione (diesel o elettrica). Mentre per ogni sorgente mobile vengono indicati: i percorsi e la geolocalizzazione nell'area portuale, la velocità di spostamento, la durata operativa (tempo trascorso nell'area portuale), il tipo di operazione effettuato, la sua distanza dai siti di misura, gli eventi sorori misurati, il numero di misure effettuato, il numero di schede realizzato e il tipo di alimentazione (diesel o elettrica).

La descrizione di ogni sorgente fornisce l'indubbio vantaggio di avere una mappatura acustica sempre aggiornata, permettendo di conoscere la causa dell'emissione del rumore (livello sonoro in frequenza e nel tempo) in caso di criticità o reclami da parte della popolazione. Il quadro descrittivo delle attività portuali aiuterà poi tutte le imprese portuali dell'area di cooperazione ad effettuare

investimenti consapevoli delle ricadute sull'ambiente e a predisporre propri sistemi di prevenzione dell'inquinamento associati a investimenti più rispettosi dell'ambiente, al fine di incentivare da parte del decisore pubblico la scelta di attrezzature ed impianti meno inquinanti per le concessioni portuali.

6 Conclusioni

Questo articolo descrive una metodologia per la capitalizzazione in tempo reale di grandi quantità di dati raccolti dai sistemi di monitoraggio acustici portuali nell'ambito del progetto di ricerca UE Interreg Maritime. I vantaggi di questa metodologia sono molteplici: elimina completamente i problemi dovuti ai limiti dello spazio di memoria, permette lo scaricamento dei dati senza l'obbligo di spostarsi e consente una più agevole ed efficace condivisione interna dei dati tra i porti coinvolti nel progetto. Inoltre, garantisce l'accessibilità e la partecipazione anche ai porti non direttamente coinvolti, ma che sono qualificati e interessati a condividere la pianificazione sul monitoraggio acustico, in modo tale da formare un raggruppamento delle informazioni che riguardano l'attività operativa reale che si svolge all'interno dei porti e il rumore prodotto.

Infine, l'inclusione di un maggior numero di registrazioni nella banca dati è molto utile per il rilevamento, la classificazione, l'identificazione e il tracciamento delle principali sorgenti di rumore acustico presenti nelle aree portuali.

Bibliografia

1. M. Weber, Urban development in the port area of Rotterdam: Challenging noise constraints, 8th European Conference on Noise Control 2009, EURONOISE 2009 - Proceedings of the Institute of Acoustics, v 31, n PART 3, 2009.
2. Lercher, P.; Evans, G.W.; Meis, M. Ambient noise and cognitive processes among primary schoolchildren. *Environ. Behav.* 2003, 35, 725–735
3. Basner, M.; Babisch, W.; Davis, A.; Brink, M.; Clark, C.; Janssen, S.; Stansfeld, S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet* 2014, 383, 1325–1332.
4. Guski, R.; Schreckenberger, D.; Schuemer, R. WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review on environmental noise and annoyance. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14, 1539.
5. Hygge, S.; Evans, G.W.; Bullinger, M. A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in schoolchildren. *Psychol. Sci.* 2002, 13, 469–474.
6. Lercher, P.; Evans, G.W.; Meis, M. Ambient noise and cognitive processes among primary schoolchildren. *Environ. Behav.* 2003, 35, 725–735
7. Recio, A.; Linares, C.; Banegas, J.R.; Díaz, J. Road traffic noise effects on cardiovascular, respiratory, and metabolic health: An integrative model of biological mechanisms. *Environ. Res.* 2016, 146, 359–370.
8. Dratva, J.; Phuleria, H.C.; Foraster, M.; Gaspoz, J.M.; Keidel, D.; Künzli, N.; Liu, L.J.; Pons, M.; Zemp, E.; Gerbase, M.W.; et al. Transportation noise and blood pressure in a population-based sample of adults. *Environ. Health Perspect.* 2011, 120, 50–55.
9. Van Kempen, E.; Babisch, W. The quantitative relationship between road traffic noise and hypertension: A meta-analysis. *J. Hypertens.* 2012, 30, 1075–1086.
10. Jarup, L.; Babisch, W.; Houthuijs, D.; Pershagen, G.; Katsouyanni, K.; Cadum, E.; Dudley, M.L.; Savigny, P.; Seiffert, I.; Swart, W.; et al. Hypertension and exposure to noise near airports: The HYENA study. *Environ. Health Perspect.* 2007, 116, 329–333.
11. A. Badino, D. Borelli, T. Gaggero, E. Rizzuto, C. Schenone, Source Airborne noise emissions from ships: Experimental characterization of the source and propagation over land, *Applied Acoustics*, v 104, p 158–171, 2016.
12. Aglaia Badino, Davide Borelli, Tomaso Gaggero, Enrico Rizzuto, and Corrado Schenone. Normative framework for ship noise: Present and situation and future trends. *Noise Control Engineering Journal*, 60(6):740–762, 2012.
13. C. Schenone, I. Pittaluga, S. Repetto, D. Borelli, Noise pollution management in ports: A brief review and the eu MESP project experience, 21st International Congress on Sound and Vibration 2014, ICSV 2014, v 2, p 1364–1371, 2014
14. Fillinger L, de Theije P, Zampolli M, Sutin A, Salloum H, Sedunov N, et al. Towards a passive acoustic underwater system for protecting harbours against intruders. In: *Waterside Security Conference (WSS), 2010 International. IEEE; 2010.* p. 1–7.
15. Chung KW, Sutin A, Sedunov A, Bruno M. DEMON acoustic ship signature measurements in an urban har-bor. *Adv Acoust Vibr.*

16. Schenone, C., Borelli, D., Pallavidino, E., Yousseu, A., Gaggero, T., Waffo, E., The Port Noise Analysis and Control in Interreg Italy-France Maritime Programme. 48th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering INTER-NOISE2019, 16-19 June 2019, Madrid, Spain.
17. <http://interreg-maritime.eu/it/web/pc-marittimo/programme> [accessed on 28th February 2019] (in Italian)

CLASSIFICAZIONE DELLE SORGENTI DI RUMORE PER LA MAPPATURA DI RUMORE IN AMBITO PORTUALE

Luca Fredianelli, Matteo Bolognese, Francesco Fidecaro, Gaetano Licitra

Abstract

Maritime transportation is recognized to have advantages in terms of environmental impact compared to other forms of transportation. However, an increment in traffic volumes will also produce an increase in noise emissions in the surroundings for a greener source, as ports are frequently surrounded by urban areas. When more sources or higher noise emissions are introduced, the noise exposure of citizens increases, and the likelihood of official complaints rises. As a consequence, among the most demanding aspects of port management is effective noise management aimed at a reduction in the exposure of citizens while ensuring the growth of maritime traffic. At the same time, the topic has not been thoroughly studied by the scientific community, mostly because port areas are challenging from a noise management point of view; they are often characterized by a high degree of complexity, both in terms of the number of different noise sources and their interaction with the other main transportation infrastructure. Therefore, an effective methodology of noise modeling of the port area is currently missing. With regard to the INTERREG Maritime Program, the present paper reports a first attempt to define noise mapping guidelines. On the basis of the current state-of-the-art and the authors' experiences, noise sources inside port areas can be divided into several different categories: road sources, railway sources, ship sources, port sources, and industrial sources. A further subdivision can be achieved according to the working operation mode and position of the sources. This classification simplifies actions of identification of the responsible source from control bodies, in the case that noise limits are exceeded or citizen complaints arise. It also represents a necessary tool to identify the best placing of medium/long-term noise monitoring stations. The results also act as a base for a future definition of specific and targeted procedures for the acoustic characterization of port noise sources.

1 Introduzione

Il traffico marittimo ha visto incrementare costantemente i suoi volumi negli ultimi anni e, nonostante la recente emergenza pandemica, si prevede che continuerà a crescere [1]. Senza una gestione adeguata, ciò porterà inevitabilmente a un aumento delle emissioni di rumore. È noto [2-4] che le navi in mare aperto abbiano un impatto non trascurabile sui mammiferi marini, i quali utilizzano segnali acustici subacquei a lungo raggio. D'altra parte, la nave è una sorgente di rumore mobile caratterizzata da un'elevata quota di emissione e da uno spettro molto ampio con componenti tonali a bassa frequenza capaci di propagarsi a grandi distanze [5]. Considerate le molteplici attività connesse al porto, che spesso funge anche da polo industriale, questo costituisce un'area ad alto potenziale di emissione di rumore, peraltro molto spesso situata nei pressi di grandi aree urbane. In tutto il mondo, i porti che rappresentano delle criticità per le comunità circostanti potrebbero essere molteplici, tuttavia, al momento ci sono pochissime stime sull'esposizione dei cittadini al rumore portuale. In mancanza di una gestione adeguata e con la crescita inevitabile dei volumi di traffico, l'impatto del rumore non potrà che peggiorare negli anni a venire. L'eccessiva

emissione di rumore e le conseguenti lamentele dei cittadini potrebbero anche compromettere la naturale crescita del traffico marittimo.

Al giorno d'oggi, è accertato che l'esposizione prolungata al rumore può influenzare la salute umana in modo diretto o indiretto. Gli effetti diretti possono addirittura causare una perdita permanente dell'udito; essi si verificano quando i livelli di pressione sonora superano i 75 dB(A), tuttavia tali effetti sui dipendono dalla durata dell'esposizione e dalla sensibilità dell'individuo. La prevenzione degli effetti diretti ha riscontrato successo dei decenni passati, portando l'esposizione dei cittadini molto al di sotto della soglia degli effetti diretti, ad eccezione di quanto avviene all'interno degli ambienti di lavoro [6]. Tuttavia, al di sotto di tale soglia possono verificarsi effetti indiretti, altrettanto importanti nei casi di esposizione prolungata. Le difficoltà di apprendimento degli studenti dovute alla riduzione dell'intelligibilità del parlato all'interno della classe [7], l'ipertensione e le malattie cardiovascolari [8], i disturbi del sonno [9] e il disturbo [10] sono i più importanti effetti indiretti (o non uditivi) sulla salute causati dall'inquinamento acustico. Al fine di prevenire tali effetti, la comunità scientifica ha ampiamente studiato le grandi infrastrutture di trasporto e le industrie, che costituiscono le sorgenti più impattanti sul territorio. Il traffico stradale e ferroviario, così come gli aeroporti hanno ricevuto una grande attenzione da parte della comunità scientifica sotto tutti gli aspetti: i meccanismi di generazione del rumore [11-13]; la propagazione; la mappatura del loro impatto sul territorio e sulla popolazione [14,15]; e la mitigazione mediante soluzioni innovative, come le pavimentazioni a bassa rumorosità in materiali riciclati [16,17], i sistemi di monitoraggio in tempo reale [18,19], e varie soluzioni di mitigazione sostenibili [20-22].

La marginalizzazione del rumore portuale rispetto alle altre infrastrutture inizia a livello normativo, dove il rumore portuale non viene mai trattato adeguatamente e viene escluso dalle mappe acustiche strategiche richieste invece direttiva europea sul rumore (END) [23] solo per le strade principali, le ferrovie, gli aeroporti e i centri urbani. Di conseguenza, i porti sono stati poco studiati in passato e solo negli ultimi anni sono stati condotti alcuni studi o progetti riguardanti il loro impatto acustico [24-26]. Mirando alla caratterizzazione acustica delle sorgenti di una nave, diversi autori hanno studiato il rumore emesso agli ormeggi [27-29], mentre un nostro lavoro precedente si è occupato di piccole e grandi navi in movimento [30,31].

La valutazione dell'esposizione al rumore viene effettuata mediante mappe di rumore, per la cui realizzazione è necessario descrivere acusticamente l'area di studio. Nel caso di un porto, oltre alle navi, è presente una grande varietà di sorgenti, tutte caratterizzate da emissioni di rumore diverse (gru, carrelli elevatori, reach stackers, ecc...).

La fase di mappatura acustica non ha beneficiato dall'attuale livello conoscenza del rumore portuale. Infatti, per definire correttamente gli output della mappatura, un modello di rumore ha bisogno di input precisi, cioè la migliore caratterizzazione acustica possibile delle sorgenti.

Per migliorare questa situazione, il programma INTERREG Maritime [32] affronta il problema del rumore portuale da diversi punti di vista attraverso una serie di progetti. Proprio perché la letteratura attuale è scarsa e ancora in fase embrionale, i progetti devono agire rapidamente, delineando linee guida per la mappatura acustica negli ambienti portuali. Un tale risultato permetterà a tutti i porti di essere attenersi ad uno standard comune, così da ottenere risultati comparabili.

Dopo aver introdotto il programma INTERREG Maritime, il presente documento esporrà le problematiche della caratterizzazione acustica di un'area portuale attingendo dall'esperienza sul campo degli autori e dall'analisi della letteratura scientifica. In generale, la prossimità ad aree densamente abitate, le numerose sorgenti di rumore presenti, il traffico stradale e ferroviario indotto dal porto e la mancanza di normative specifiche sono gli aspetti più citati come ostacolo

alla mappatura delle sorgenti studiate. L'analisi effettuata mostra come una corretta caratterizzazione acustica delle principali sorgenti che agiscono nei porti è ancora un problema

irrisolto a causa delle molte e diverse sorgenti e dei problemi che insorgono quando si effettuano misure di rumore in un ambiente così complesso e con un rumore di fondo non trascurabile.

Il presente lavoro analizza quindi tutte le sorgenti di rumore presenti in un ambiente portuale che devono essere considerate per sviluppare correttamente la mappa acustica, con lo scopo di definire gli input che riducono le incertezze sull'output del modello. In un primo momento, le sorgenti sono divise in macrocategorie in base alle loro caratteristiche, e, poi, vengono ulteriormente suddivise secondo diversi criteri, come la loro modalità di attività o l'ubicazione. Questa classificazione avvantaggerà le autorità competenti nell'assegnare correttamente le responsabilità di eventuali superamenti dei limiti di rumore e quindi trovare le attività più impattanti, al fine di sviluppare adeguate azioni di mitigazione del rumore. Infine, ulteriori studi volti a definire protocolli specifici di caratterizzazione del rumore emesso dalle sorgenti gioverebbero alla categorizzazione proposta.

2 Il programma INTERREG Marittimo

Il programma INTERREG Maritime Italia-Francia 2014-2020 è stato concepito per colmare il vuoto di conoscenze sul rumore dei porti. Diversi progetti sono in fase di realizzazione al fine di descrivere l'attuale stato dell'arte e individuare le migliori pratiche in termini di sostenibilità a lungo termine nell'area del Mar Tirreno Settentrionale. I progetti attualmente approvati, che mirano a valutare diversi aspetti del rumore portuale, sono:

- RUMBLE: mira a realizzare infrastrutture per la riduzione del rumore nei grandi porti;
- MON ACUMEN: ha l'obiettivo di sviluppare un sistema di monitoraggio comune sui porti del Mar Tirreno Settentrionale;
- REPORT: mira a sviluppare modelli di simulazione, valutazione del rumore e strategie di controllo del rumore producendo linee guida;
- DECIBEL: mira alla realizzazione di infrastrutture per la riduzione del rumore nei piccoli porti;
- L.I.S.T. PORT: ha lo scopo di sviluppare modelli logistici e di gestione del traffico di veicoli leggeri e pesanti da e per i porti.

I partner coinvolti in questo cluster di progetti sono:

- tre università italiane (Università di Cagliari, Università di Genova, Università di Pisa);
- un'università francese (Università della Corsica Pasquale Paoli);
- la regione Liguria, due associazioni di comuni (ANCI Liguria, ANCI Toscana);
- le autorità portuali dei porti italiani coinvolti (Cagliari, Genova, La Spezia, Livorno, Portoferraio);
- l'Agenzia di Protezione Ambientale della regione Toscana (ARPAT), due comuni (Nizza Costa Azzurra, Olbia);
- due camere di commercio e industria francesi (Nizza, Bastia);
- il centro di ricerca francese CSTB, l'Ufficio dei Trasporti della Corsica.

Al termine delle attività di ricerca, il progetto REPORT aggregherà tutti i risultati raggiunti in tutti i diversi progetti per riassumerli e metterli a frutto.

I risultati presentati in questo documento sono stati ottenuti grazie agli sforzi compiuti durante i tre progetti che coinvolgono i grandi porti, cioè RUMBLE, MON ACUMEN e REPORT.

RUMBLE è un acronimo francese che sta per "Riduzione del rumore nelle grandi città portuali nel programma marittimo transfrontaliero". Il programma mira a ridurre l'emissione di rumore dei porti e delle infrastrutture logistiche, sviluppando infrastrutture di riduzione del rumore nei grandi

porti. Analizzare lo stato dell'arte del rumore portuale in termini di tecnologie disponibili e la percezione del rumore portuale da parte dei cittadini rappresenta il primo passo del suo programma. In collaborazione con MON ACUMEN e REPORT, è stato quindi stabilito un questionario comune, per raccogliere tutti i dati disponibili sul rumore portuale nell'area di interesse, e per effettuare un'indagine sulla percezione del rumore portuale da parte dei cittadini locali. Poi, dopo campagne di monitoraggio ante-operam, sono state realizzate le infrastrutture di abbattimento del rumore, e le campagne di monitoraggio del rumore post-operam stanno per essere condotte per valutare i benefici ottenuti.

MON ACUMEN è l'acronimo di "MONitorage Actif Conjoint Urbain-MaritimE de la Nuisance" (monitoraggio attivo collettivo del rumore urbano e marittimo). Lo scopo di questo progetto è quello di affrontare il monitoraggio e la gestione del rumore nell'area portuale, al fine di consentire alle autorità portuali di gestire le attività portuali in modo sostenibile. Il progetto è iniziato con un'analisi approfondita dello stato dell'arte riguardante il rumore portuale, il monitoraggio del rumore, la misurazione del rumore e la caratterizzazione acustica delle sorgenti di rumore specifiche del porto. Le mappe acustiche dei porti coinvolti sono necessarie per progettare correttamente l'infrastruttura di monitoraggio. Più specificamente, una relazione tra le diverse attività portuali e i livelli di rumore ai ricettori permetterà di individuare correttamente le postazioni di monitoraggio. L'obiettivo è quello di costruire un sistema di monitoraggio integrato che segua regole comuni per tutti i porti dell'area, che permetta il monitoraggio simultaneo in tempo reale del rumore in tutti i porti e, nel caso in cui il rumore superi i limiti, valutare le responsabilità.

Rispetto ai progetti sopra descritti, REPORT affronta la questione del rumore portuale da una prospettiva più teorica, mirando a sviluppare modelli che portino a una migliore comprensione del fenomeno. In particolare, il progetto si concentra sui seguenti modelli:

- modellazione delle navi come sorgente di rumore e sviluppo di uno strumento integrato in grado di gestire il rumore delle navi in modo simile al rumore ferroviario e stradale nel software commerciale MithraSIG;
- sviluppo di una rete neurale specializzata nell'analisi del flusso di traffico in grado di eseguire la previsione in tempo reale dei livelli di rumore sulla base dei dati del flusso di traffico e della composizione del traffico;
- analisi delle più recenti tecnologie di propulsione (vale a dire: elettriche, ibride, a celle a combustibile e a gas naturale liquefatto) in termini di riduzione del rumore quando adottate dalle unità di movimentazione merci nelle aree portuali e stima della riduzione globale del rumore basata sull'adozione di tali tecnologie;
- valutazione econometrica dei costi sociali generati dall'inquinamento acustico nell'area portuale che.

Escluso l'ultimo modello, sono tutti in fase di validazione. La convalida del modello di rumore nelle aree portuali sarà seguita da un documento finale che presenterà tutti i risultati prodotti durante il programma INTERREG Maritime.

3 Le problematiche del rumore portuale

La presente sezione riporta le criticità in un ambiente portuale da un punto di vista acustico emerse da lavori internazionali pubblicati o da esperienze dirette degli autori in alcuni dei più importanti porti del Mar Mediterraneo.

Le principali problematiche relative al rumore portuale possono essere riassunte in quattro punti:

- vicinanza di aree urbane a zone rumorose;
- innumerevoli sorgenti che differiscono anche in termini di emissioni;
- traffico legato alle operazioni portuali;
- mancanza di normative specifiche.

Paschalidou et al., nel 2018, [24], hanno descritto l'area portuale del Pireo (Grecia) come un ambiente complesso che rende tutt'altro che semplice una rappresentazione completa del clima acustico. Gli autori hanno anche sottolineato la presenza simultanea e conflittuale di altre grandi infrastrutture di trasporto e attività industriali. Questo è un esempio della complessità di fondo della mappatura del rumore portuale, che dovrebbe includere tutte le tipologie di sorgente richieste dalla END (European Noise Directive). Il lavoro greco ha riportato la presenza di insediamenti umani nei dintorni, senza esplorare l'argomento in profondità; tuttavia, questo complica ulteriormente la situazione e può potenzialmente arrecare disturbo o fastidio alla popolazione. Inoltre, Paschalidou et al. hanno sottolineato che l'impatto delle attività portuali come il trasposto di container e i cantieri navali possano propagarsi a lunghe distanze a causa dell'ingente flusso di traffico di mezzi pesanti da esse generato.

Uno scenario simile è stato descritto da Schenone, et al. nel 2016 con i risultati del progetto MESP [33], concentratosi su alcuni importanti porti del Mar Mediterraneo come Patrasso (Grecia) e Tripoli (Libia). La maggior parte dei porti studiati presentavano le medesime problematiche:

"(...) se non ben pianificati e gestiti, essi (i porti) possono anche rappresentare una minaccia per la salute dei cittadini che vivono nell'area circostante. Infatti, una gestione e uno sviluppo improprio e insostenibile dei porti comportano disolito rapporti difficili con le aree urbane in termini di uso del suolo, inquinamento e qualità della vita dei cittadini".

Inoltre, Schenone et al. [33] in uno studio condotto per la riduzione del rumore nel porto di Tripoli, hanno prestato particolare attenzione al rumore prodotto da veicoli/macchinari specificamente utilizzati in ambito portuale, suggerendo la manutenzione delle attrezzature portuali come gru, carrelli elevatori, ma anche camion e veicoli. Gli interventi di mitigazione hanno interessato il solo rumore generato dal traffico stradale attraverso la stesura di asfalto fonoassorbente, la riduzione dei limiti di velocità lungo le strade, il divieto all'uso del clacson, l'introduzione di dossi di rallentamento e attraversamenti.

Tuttavia, oltre al traffico stradale, nelle aree portuali è solitamente presente un'ampia varietà di attività industriali rumorose, dalla costruzione navale alle industrie del petrolio e del gas, agli impianti di stoccaggio dei cereali, alla lavorazione della carta e molte altre. La presenza di impianti industriali contribuisce in due modi diversi al livello di complessità: aggiungendo più traffico all'interno e all'esterno dei confini portuali e aggiungendo più sorgenti di rumore nella zona, tra cui macchinari industriali e veicoli di carico/scarico.

Nei pressi delle aree portuali le principali infrastrutture di trasporto di solito sorgono intorno al porto, dato che questo spesso agisce come un hub di trasporto dove tutte le infrastrutture terrestri convergono sulla verso le vie marittime.

Allo scopo di ridurre l'impatto ambientale del commercio internazionale negli ultimi anni, è stato profuso un ingente impegno nel promuovere l'intermodalità [34]. Nelle medie e lunghe distanze, l'implementazione dell'intermodalità generalmente promuove l'uso del trasporto marittimo a dispetto di quello di rotaie delle strade: come risultato, sempre più traffico terrestre sarà dirottato verso i porti.

Una recente campagna di monitoraggio eseguita da Alsina-Pagès et al. [35] ha riconosciuto la necessità di un monitoraggio acustico nel porto di Barcellona, constatando in un successivo lavoro [36] che:

"I porti sono nodi logistici caratterizzati da diversi tipi di rumore, che di solito possono verificarsi in modo concomitante nelle stesse aree portuali: traghetti, crociere, navi da pesca e commerciali coesistono con altri servizi industriali e ausiliari".

Come già detto, i porti sono di solito circondati da insediamenti urbani. Pertanto, molti abitanti possono risultare esposti al rumore del porto, direttamente o indirettamente a causa del traffico terrestre indotto. Inoltre, le attività portuali producono un impatto significativo sul rumore anche di notte [37], quando le attività umane in città di solito diminuiscono. Il rumore di fondo più basso significa che il rumore dell'area portuale è ancora più significativo, e influenza il *soundscape* a distanze maggiori.

Murphy e King [38] hanno studiato l'esposizione al rumore dei cittadini che vivono nelle vicinanze del porto di Dublino. I loro risultati hanno mostrato che i cittadini erano esposti a un rumore superiore ai limiti suggeriti per l'esposizione notturna [39], con un quantitativo significativo componenti a bassa frequenza.

Infine, le navi rappresentano una sorgente di rumore distintiva nell'area portuale e sono molto variabili in termini di dimensioni, potenza sonora e spettro sonoro. Le operazioni di carico e scarico devono essere considerate per valutare correttamente l'emissione di rumore da parte delle navi. Il progetto Eco.Port riporta che la principale difficoltà riscontrata durante la caratterizzazione dell'emissione sonora delle navi è stata la corretta valutazione del rumore di fondo, fortemente influenzato dal rumore emesso dalle attività urbane intorno ai porti e ai canali di Venezia [40].

Lo studio del rumore prodotto dalle navi è molto impegnativo e richiede una caratterizzazione specifica per ogni fase che si verifica durante la loro permanenza nel porto: movimentazione; manovre di ormeggio e operazioni a terra. Inoltre, ogni singola categoria di nave ha una serie di operazioni peculiari e può emettere in modi diversi, rendendo impossibile generalizzare i risultati. Alcuni studi sono stati dedicati esclusivamente alle navi ormeggiate, al rumore dei macchinari che si propaga attraverso le vibrazioni dello scafo, al rumore aerodinamico prodotto dai fumaioli, ai sistemi di riscaldamento e ventilazione [28,29,41,42]. Tuttavia, meno attenzione è stata data alle gru o alle operazioni di carico/scarico. Inoltre, il rumore delle navi in movimento è stato studiato [43-45], ma una corretta caratterizzazione dell'emissione di rumore delle navi suddivisa per categorie è stata riportata solo nell'ultimo anno [30,31].

Come sottolineato da autori di diverse parti del mondo, la mancanza di normative specifiche riguardanti la gestione del rumore nelle aree portuali sembra essere un denominatore comune [46-51].

Riassumendo, il porto presenta molti aspetti critici, come l'elevato numero di sorgenti operanti nell'area portuale che lavorano continuamente e in modo caotico, il traffico indotto dalle attività portuali che produce rumore lontano dai confini del porto e si mescola al traffico regolare. Tutte queste problematiche sono emerse anche nei sette porti del Nord Tirreno coinvolti nei progetti Rumble, Report e Mon Acumen. Escludendo il porto di Portoferraio, i porti coinvolti sono tra i più importanti d'Italia e Francia e, naturalmente, dell'intero Mediterraneo. La Figura 1 mostra su una mappa le posizioni e il coinvolgimento dei porti nei diversi progetti.

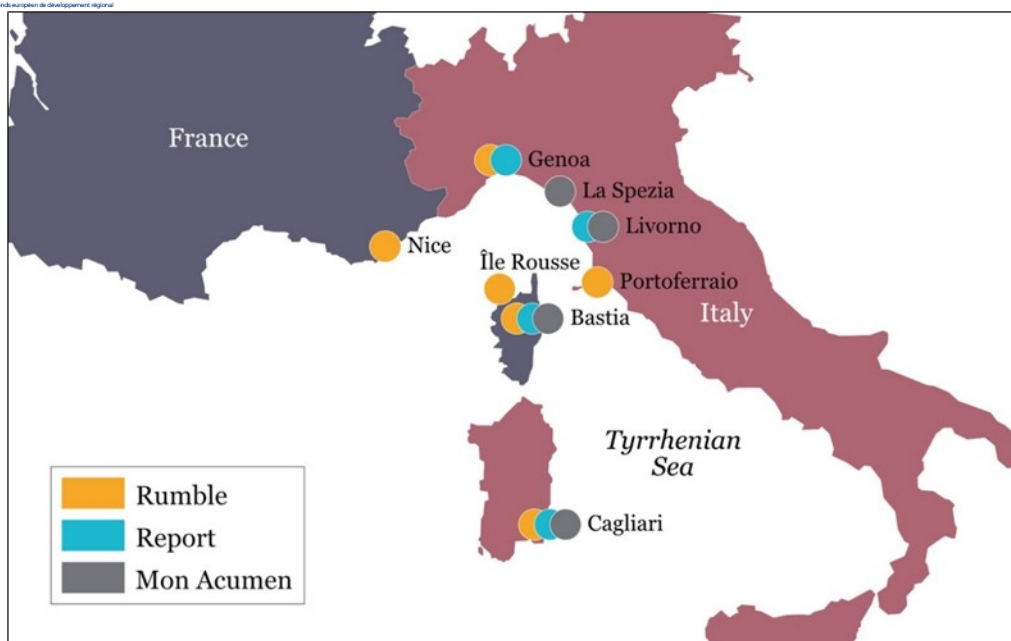


Figura 4: I porti coinvolti nei tre progetti del programma INTERREG Maritime: Rumble, Report e Mon Acumen.

Parte del progetto MON ACUMEN consisterà nella pappatura acustica dei dei porti di Bastia, La Spezia, Livorno e Cagliari. Questi porti sono circondati da un'area urbana desnamente abitata e da importanti arterie stradali urbane che si frappongono tra l'area portuale e la città.

Inoltre, in tre dei porti sono presenti anche le ferrovie, utilizzate principalmente per il trasporto merci. Altri porti del programma INTERREG presentano caratteristiche molto simili, in particolare il porto di Genova, in cui tutte le criticità sono presenti in uno scenario ulteriormente complesso. Il porto di Genova, coinvolto nei progetti REPORT e RUMBLE, è il più importante dell'area in termini di flusso di passeggeri e merci e uno dei porti più importanti del Mediterraneo. Inoltre, l'intera città di Genova circondata a sud daii confini del porto e a nord dalle pendici dell'Appennino Ligure, condizione favorevole per la propagazione e la riflessione dei raggi sonori. Di conseguenza, la popolazione risulta ancora più esposta al rumore portuale. Tra il porto e la città sono presenti, inoltre, autostrade e grandi infrastrutture ferroviarie.

A titolo di esempio del grado di complessità delle realtà portuali, in Figura 2 e Figura 3 sono rappresentati i porti di Genova e Livorno, dove alle diverse zone dei porti sono stati assegnati colori in base alle destinazioni d'uso. Come è possibile vedere sono presenti numerose aree industriali circondate da aree densamente abitate.

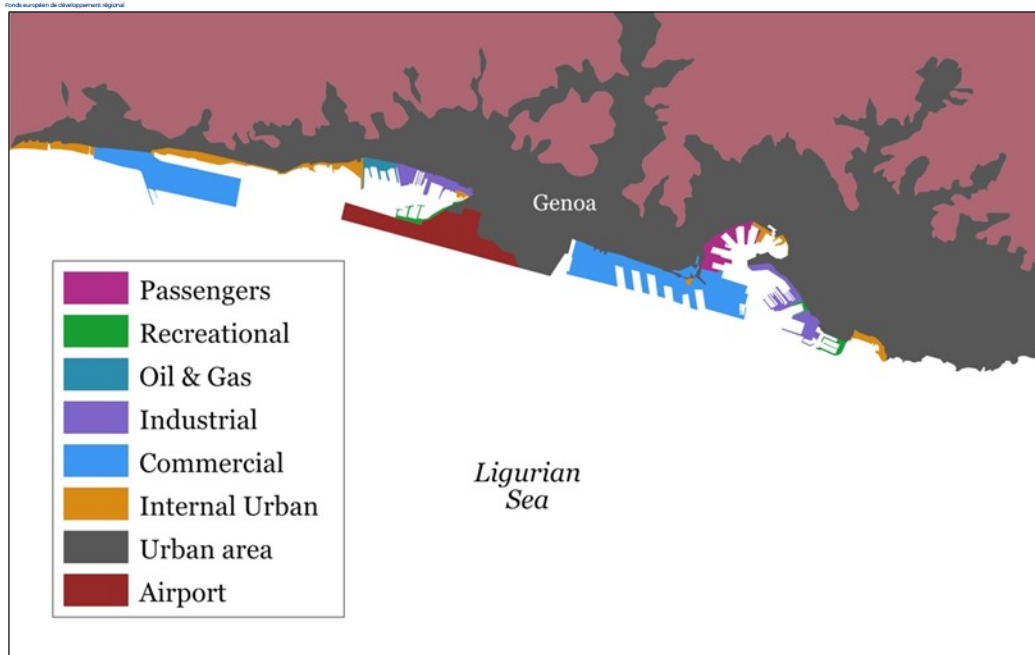


Figura 5: Il complesso scenario della città di Genova, dove l'area portuale è completamente circondata dalla città.

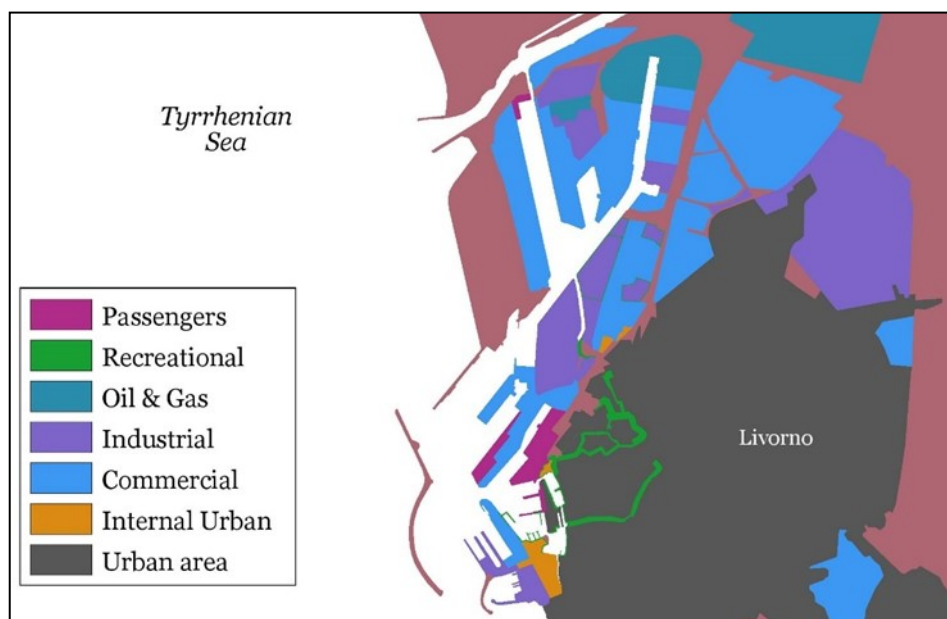


Figura 6: Lo scenario complesso della città di Livorno, dotato persino di canali navigabili interni al centro storico.

4 Classificazione delle sorgenti di rumore portuali

In questo capitolo descriveremo gli elementi fondamentali per la realizzazione di un'accurata mappa acustica, ossia un modello 3D dell'area di studio, un database che include tutte le sorgenti di rumore coinvolte e, naturalmente, la classificazione acustica delle principali sorgenti di rumore presenti. Il primo sottocapitolo descrive i requisiti di base condivisi da tutti i tipi di mappe acustiche, mentre il secondo riporta la suddivisione in categorie delle sorgenti portuali.

4.1 Informazioni di base per il modello 3D

Un modello 3D completo dell'area è l'ingrediente di base per una mappatura accurata del rumore. Le informazioni necessarie dovrebbero essere ben note alle autorità portuali, che di solito sono in grado di fornirle, anche se potrebbero non essere aggiornate.

Un semplice suddivisione dei dati geografici potrebbe essere il seguente:

- dati morfologici;
- dati topografici;
- edificato.

I punti di elevazione e le isoipse sono punti chiave per costruire il modello digitale del terreno (DTM). Un DTM corretto è indispensabile per un calcolo preciso della propagazione del rumore, così come per un corretto posizionamento di edifici e sorgenti. Per esempio, strade e ferrovie a volte sono fornite solo su una mappa bidimensionale, che poi deve essere adagiata sul DTM. Invece, nel caso in cui le mappe delle infrastrutture di trasporto siano dotate anche di quote di elevazione, queste possono essere utilizzate per il calcolo del DTM, permettendo di ottenere un modello più accurato. Quindi, gli elementi tridimensionali che potrebbero interferire con la propagazione del suono devono essere inclusi nel modello 3D e devono essere attentamente posizionati sul DTM. I seguenti dati devono essere raccolti e attentamente esaminati:

- edifici residenziali e industriali, inclusa la loro altezza;
- ricevitori sensibili (scuole, ospedali);
- ostacoli come barriere acustiche, pile di container e simili.

Bisogna conoscere inoltre la distribuzione della popolazione sul territorio e quindi il numero di abitanti di ogni edificio residenziale, così come il numero di studenti nelle scuole e di pazienti negli ospedali. Infatti, in caso di superamenti dei livelli limiti la priorità degli interventi di mitigazione del rumore viene calcolata sulla base del numero di abitanti esposti.

Per ciascuna infrastruttura di trasporto invece dovranno essere acquisiti i dati sui flussi di traffico medi annui.

Una sintesi degli elementi necessari per la realizzazione del modello è riportata nella Tabella 1.

Tabella 1: Dati di input per il modello 3D. Per ciascun elemento viene indicato se è necessario per la realizzazione del DTM, se costituisce una sorgente di rumore, se ospita dei ricettori e se interferisce sulla propagazione del suono.

Elementi geografici	Necessario per il DTM	Sorgenti sonore	Ricettori	Propagazione
Punti di elevazione e isoipse	Si			X
Edifici industriali e residenziali	No		X	X
Ostacoli	No			X
Strade	Si se dotate di punti di elevazione	X		
Ferrovie	Si se dotate di punti di elevazione	X		
Industrie		X		X
Utilizzo del suolo (Corine land cover)				X

4.2 Suddivisione delle sorgenti di rumore in Macrocategorie

La prima suddivisione delle sorgenti di rumore nell'area portuale la si può attribuire al progetto NoMEPorts [52], dove le possibili sorgenti sono state divise nelle categorie "sorgenti industriali" o

"sorgenti legate al traffico". Sulla base dell'esperienza acquisita con l'analisi dello stato dell'arte del rumore portuale [47], viene qui proposta una classificazione perfezionata.

Gli autori reputano che includere in un unico grande gruppo tutte le sorgenti diverse da strade e ferrovie non è adeguato poiché il rumore prodotto da attività o sorgenti molto diverse, rientrerebbe in una categoria come:

- rumore delle navi (in movimento o ormeggiate);
- rumore prodotto dalla pletora di impianti industriali che solitamente è presente in un'area portuale;
- rumore prodotto dalle attività portuali (operazioni di carico e scarico, movimentazione di container, operazioni di servizio alle imbarcazioni, ecc).

Soprattutto, nei casi in cui si verificasse un superamento dei limiti, il reale responsabile dovrebbe agire per mitigarlo. Pertanto, avere tutte e tre le classi di sorgenti incluse in gruppi diversi rende più facile il compito di assegnare la responsabilità del superamento. A questo proposito, una suddivisione ulteriore in sottoclassi può aiutare a identificare correttamente le responsabilità.

Le macrocategorie così definite sono le seguenti:

- sorgenti stradali;
- sorgenti ferroviarie;
- sorgenti navali;
- sorgenti portuali;
- sorgenti industriali.

Al fine di effettuare una più precisa attribuzione delle responsabilità, è stata stabilita un'ulteriore differenziazione geografica partendo dal fatto che un'area portuale è, per sua natura, circondata e penetrata da altre infrastrutture di trasporto. Mentre il traffico stradale o ferroviario all'interno dei confini portuali è ovviamente legato alle attività portuali, al di fuori dei confini, il traffico legato al porto si mescola con quello cittadino. Così, anche se può apparire difficile da applicare, la seguente differenziazione è necessaria per entrambi i traffici stradali e ferroviari:

- traffico interno;
- traffico esterno legato al porto;
- traffico esterno non generato dal porto.

All'inizio, sia per il traffico stradale che per quello ferroviario, si può produrre un'unica mappa che comprenda tutte e tre le componenti, ma all'insorgere di criticità, la differenziazione proposta dovrebbe essere attuata permettendo di valutare le possibili responsabilità del porto.

Una descrizione più approfondita dei gruppi proposti è presentata nelle seguenti sottocapitoli.

4.2.1 Sorgenti stradali

Come discusso precedentemente, il flusso di traffico è diviso in tre componenti. Il traffico interno potrebbe essere stimato attraverso il monitoraggio del flusso ai varchi, ma il traffico esterno legato al porto potrebbe essere più difficile da valutare correttamente. Una campagna di monitoraggio del traffico è pertanto caldamente consigliata, ma in caso non fosse praticabile per ragioni economiche o pratiche, partendo dai dati di traffico ai varchi si potrebbero ottenere stime sulla distribuzione del traffico indotto sulla rete stradale mediante un modello di traffico. In ogni caso, il

punto di partenza potrebbe essere una mappa che includa il contributo di tutte le sottoclassi, mentre in un secondo momento, solo dopo l'eventuale emergere di criticità acustiche si potrebbe procedere alla produzione di mappe specifiche. La Figura 4 riporta esempi di traffico stradale nelle aree portuali evidenziandone la complessità.

4.2.2 Sorgenti ferroviarie

Un approccio simile a quello usato per le sorgenti stradali è consigliato per le ferrovie. La differenza principale è che i treni possono avere una differenziazione più precisa tra il traffico legato al porto e quello non legato al porto. Per esempio, se un porto non presenta una stazione di treni passeggeri all'interno dei suoi confini, l'intero traffico passeggeri potrebbe essere considerato non legato al porto. Inoltre, la rete ferroviaria è probabilmente più semplice rispetto a quella stradale. Sulla mappatura delle sorgenti ferroviarie è disponibile un'ampia letteratura e le metodiche da seguire per la mappatura del traffico ferroviario legato al porto è la medesima di quella utilizzata per la mappatura delle normali arterie ferroviarie. Tuttavia, alcune differenze rispetto ai casi standard potrebbero emergere a causa dell'alta percentuale di treni merci nei porti industriali, come rappresentato negli esempi della Figura 5.

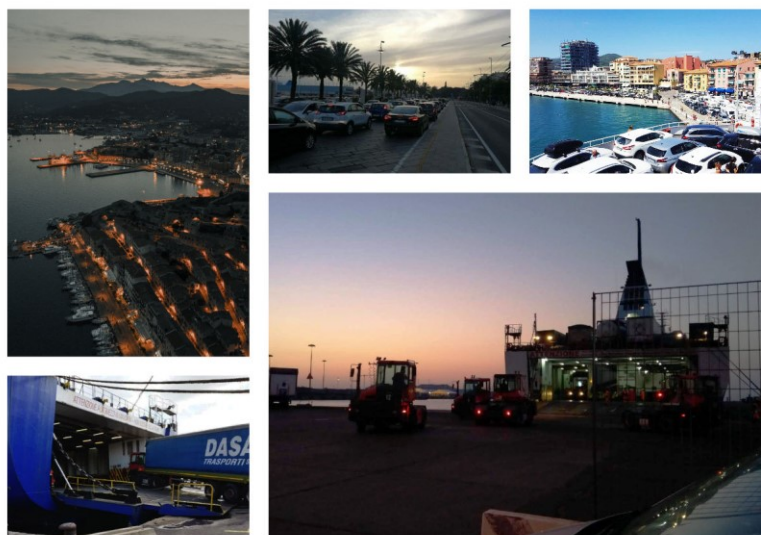


Figura 7: Esempi di complessità del traffico stradale nelle aree portuali.



Figura 8. Esempi di complessità del traffico ferroviario, tra cui le operazioni di carico/scarico di treni merci.

4.2.3 Sorgenti navali

In questa categoria rientrano tutte le attività legate al movimento e allo stazionamento delle navi. Nel protocollo formalizzato per il progetto MON ACUMEN si chiede quindi di fornire le potenze sonore delle sorgenti navali nelle due diverse fasi operative per le seguenti categorie di natanti:

- traghetti;
- roll-on/roll-off;
- navi container;
- crociere;
- navi cisterna per prodotti chimici;
- navi cisterne;
- pilotine;
- rimorchiatori.

La ragione di questa scelta è semplicemente dovuta alle differenze tecniche tra le diverse classi di imbarcazioni considerate. Inoltre, il diverso materiale trasportato comporterà differenze tra le procedure di carico e scarico e, quindi, tra le diverse emissioni di rumore. Ad esempio, le crociere interessano principalmente il traffico passeggeri, che porterà a livelli più alti di traffico stradale terrestre indotto a causa dei passeggeri che si avvicinano all'area portuale, ma genererà bassi livelli di rumore nella fase di imbarco e di rifornimento. Al contrario, le fasi di carico e scarico dei RoRo sono caratterizzate da grandi flussi di mezzi autorimorchi e automobili direttamente sulle navi, mentre i traghetti si collocano tra i due con un mix di passeggeri e camion che salgono e scendono dalle navi. Le portacontainer sono completamente diverse perché il carico/scarico coinvolge esclusivamente i container, quindi sono frequenti rumori di impatto dei container, rumori di segnalazione delle gru e dei veicoli, e rumori dei veicoli in transito. Tuttavia, tutte le operazioni di carico e scarico sono incluse nelle categorie delle sorgenti portuali. Diversi tipi di navi e operazioni sono riportati nella Figura 6 a titolo di esempio.



Figura 9: Esempi di tipi di navi, inclusi portacontainer (in alto a sinistra), Traghetti (In alto al centro), pilotine (In basso a destra), e una vista dei canali interni della città di Livorno (in alto a destra).

L'emissione di rumore dalle navi si riconduce principalmente ai motori, al fumaiolo e agli sbocchi di ventilazione, nonché alle fasi di movimentazione. La categorizzazione si basa principalmente sul tipo di nave. Inoltre, il tonnellaggio è legato ai rimorchiatori utilizzati per manovrare la nave; le portacontainer sono generalmente più grandi dei traghetti e dei Ro-Ro, quindi hanno generalmente bisogno di essere manovrate con l'aiuto di uno o più rimorchiatori, mentre le navi più piccole possono essere ormeggiate senza il supporto di rimorchiatori. Ignorare la presenza dei rimorchiatori può portare a una sottostima dell'emissione totale del gruppo di sorgenti navali. Per queste ragioni, una caratterizzazione dell'emissione di rumore durante le diverse fasi di funzionamento è necessaria per tutti i tipi di navi.

Per ridurre la complessità del modello, all'interno di questo dovrebbero essere considerate solo le classi di navi che danno un contributo significativo al rumore, cioè le più rumorose o le più frequenti. Questo includerebbe tutte le navi commerciali e passeggeri come RoRo, crociere, navi container, petroliere, e così via. Le navi più piccole, come le imbarcazioni da diporto, le navi delle forze dell'ordine e i pescherecci dovrebbero essere considerate solo se esplicitamente richiesto o quando un particolare disturbo emergesse a livello locale. Infatti, mentre il loro basso numero attualmente non rappresenta un problema per città come Livorno [30], il sistema di trasporto acquatico potrebbe rappresentare un problema per le città costiere o fluviali, come Amburgo, Bordeaux, Amsterdam e Venezia sotto forma di taxi acquatici, autobus acquatici o imbarcazioni private che causano inquinamento acustico. In queste città, il trasporto acquatico può essere considerato come una categoria a sé stante per una corretta assegnazione delle responsabilità in caso di superamento del rumore.

Considerando la popolazione navale dei porti oggetto di studio, le piccole imbarcazioni sono pertanto escluse per evitare di disperdere gli sforzi in aspetti secondari che contribuirebbero marginalmente alle emissioni sonore totali [43]. Per esempio, prendere in considerazione le imbarcazioni da diporto richiederebbe misure di rumore a lungo termine che non sono compatibili con i requisiti dei progetti e, inoltre, la loro emissione di rumore sarà probabilmente trascurabile rispetto alle navi commerciali e passeggeri in quanto più numerose e più rumorose.

Il rumore prodotto da sorgenti mobili e/o stazionarie dovrebbe essere opportunamente suddiviso in base alla sua tipologia. Per poter implementare correttamente una singola nave, è necessario inserire numerose sorgenti di rumore all'interno del modello digitale del porto. Tuttavia, l'emissione

di rumore può variare considerevolmente in base all'elevazione del fumaiolo, al posizionamento delle bocchette dei sistemi di ventilazione, e ovviamente, può variare a seconda della tipologia di imbarcazione.

4.2.4 Sorgenti portuali

Questa categoria comprende tutte le sorgenti direttamente impiegate in attività legate al porto, come:

- carico e scarico di treni merci;
- carico e scarico di navi;
- operazioni di servizio alle imbarcazioni.

Esempi di queste attività sono il carico/scarico di container dalle navi portacontainer, il rifornimento di carburante, l'imbarco e lo sbarco di veicoli da navi RoRo, e il carico/scarico di container sui treni merci.

Esempi di sorgenti portuali sono riportati nella Figura 7.

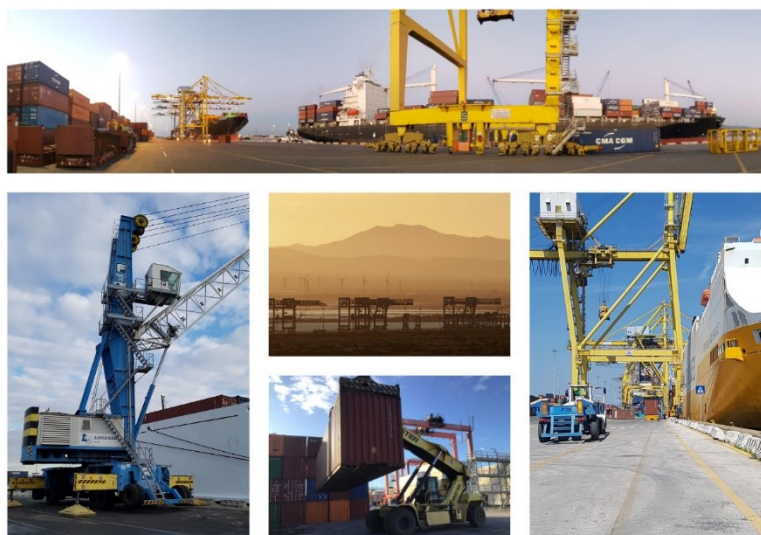


Figura 10: Esempi di sorgenti portuali. In alto, una vista grandangolare di una banchina nel porto di Livorno dove si possono osservare numerosi container, una nave portacontainer e diverse gru; al centro una vista di una banchina container. In basso, tre immagini dal porto di Livorno, da destra a sinistra: una gru a portale vicino a una nave portacontainer, un reach stacker nell'atto di trasportare un container e infine una gru mobile.

Un'ulteriore suddivisione è necessaria per descrivere correttamente le sorgenti appartenenti ad una classe così ampia dal punto di vista acustico. Un criterio potrebbe essere suddividere innanzitutto tra sorgenti mobili e fisse. Mentre le sorgenti fisse sono principalmente rappresentate dalle gru, anche se di diversi tipi, le sorgenti di rumore mobili che lavorano nelle aree portuali includono una grande varietà di veicoli o macchinari. I più importanti sono straddle-carriers, front lifts, contstacker, fork-lifts, transtainers, gru mobili, trattori di banchina e altre unità di movimentazione merci.

Inoltre, le sorgenti incluse in questa categoria svolgono attività diverse che corrispondono a diverse emissioni sonore. Quindi, una definizione unica non è sufficiente per queste sorgenti, che possono essere caratterizzate da diverse fasi operative raggruppabili in tre categorie, ognuna delle quali ha diverse caratteristiche di emissione sonora:

- transito;
- movimentazione;

- operazioni di carico/scarico.

Per ogni categoria e fase, è necessaria un'adeguata campagna di misura finalizzata ad una opportuna caratterizzazione acustica.

4.2.5 Sorgenti industriali

Questa categoria contiene tutte le restanti sorgenti industriali non incluse nelle precedenti categorie. Tuttavia, raccogliere tutte le informazioni con il massimo dettaglio può essere molto complesso e dispendioso. Infatti, nei pressi dell'area portuale sono presenti numerosi siti o attività industriali occupati ogni tipo di attività produttiva. Come prima approssimazione, si raccomanda di porre la massima attenzione alle sorgenti esterne come i veicoli e le macchine industriali utilizzate nelle attività industriali, e alle attività di carico e scarico relative alle industrie. Le sorgenti all'interno degli edifici possono essere incluse esclusivamente in caso fossero necessari approfondimenti, dato che non ci si aspetta che il loro impatto sul ricevitore sia significativo in un ambiente portuale.

5 Discussione dei risultati e conclusioni

La valutazione del rumore prodotto dai porti è diventata sempre più necessaria a causa dell'aumento del traffico marittimo di passeggeri e di merci. Inoltre, la mancanza di politiche di controllo e di normative specifiche ha permesso, negli anni, la crescita di strutture rumorose intorno ai porti, come centrali elettriche, centri logistici e industrie. La prima parte del presente lavoro ha riguardato l'analisi della letteratura, unita all'esperienza maturata dagli autori nel programma INTERREG Maritime Italia-Francia 2014-2020. I risultati hanno evidenziato come l'aumento delle attività e/o l'espansione territoriale di alcuni porti, ha portato a zone urbane troppo vicine ad ambienti rumorosi. Fino ad oggi, solo alcuni reclami sono stati presentati dai cittadini che vivono vicino ai porti, ma, se non sarà prestata immediatamente la giusta attenzione al rumore dei porti, ci si attende un incremento delle lamentele nel prossimo futuro.

Il programma INTERREG-Marittimo mira a approfondire le conoscenze sul rumore dei porti attraverso una serie di progetti specifici. Tra tutti, RUMBLE mira a realizzare infrastrutture per la riduzione del rumore nei grandi porti, MON ACUMEN ha l'obiettivo di sviluppare un sistema di monitoraggio comune nei porti del Tirreno Settentrionale, e REPORT mira a sviluppare modelli di simulazione, valutazione del rumore e strategie di controllo del rumore. La fase di mappatura acustica è il primo passo fondamentale per la valutazione dell'esposizione dei cittadini al rumore e la necessità di una sua mitigazione. MON ACUMEN ha inoltre come obiettivo la produzione di mappe acustiche di tutti i porti coinvolti nel progetto.

Nell'analisi delle problematiche acustiche causate dai porti nell'ambiente circostante, il presente lavoro si è concentrato sul mostrare la mancanza di studi riguardanti la mappatura del rumore delle aree portuali all'interno della letteratura scientifica attuale. Pochissimi studi sono stati dedicati al rumore portuale, principalmente perché è difficile e impegnativo dal punto di vista della caratterizzazione delle sorgenti e delle campagne di misura. Infatti, questo lavoro ha mostrato come vi siano problemi di natura tecnica, oltre alla mancanza di normative specifiche e alla vicinanza di aree abitate. La stessa individuazione dei confini dell'area portuale è problematica, considerando che molteplici attività sono connesse alle banchine e alle aree di carico/scarico. Esempi sono costituiti dagli hub intermodali e da tutte quelle infrastrutture di trasporto connesse al porto, ma che, per motivi legati all'orografia, possono anche essere situati a distanze considerevoli dalla costa.

La problematica principale risiede nelle dimensioni dei porti e nel gran numero e varietà di sorgenti sonore che ospitano. Le possibili sorgenti di rumore che si possono trovare in un porto vanno dalle navi in transito, alle navi ferme, ai generatori, ai mezzi di manovra, alle gru, ai macchinari e ai sistemi

di ventilazione, ma anche ai veicoli in movimento e ai treni. Alcune di queste sorgenti sono state oggetto di studi specifici, ma molte altre sono state trascurate e i loro peculiari meccanismi di generazione del suono richiedono un'attenzione specifica. Inoltre, è spesso difficile effettuare il censimento dei macchinari industriali rumorosi, dato che nel territorio gestito dalle autorità portuali possono trovarsi aziende con politiche interne divergenti in materia di inquinamento ambientale. Inoltre, sia il traffico stradale che quello ferroviario relativo all'area portuale si mescolano al traffico locale, pertanto è necessaria una particolare attenzione nel separare i contributi.

Dopo queste osservazioni, è ormai chiaro quanto siano insufficienti i metodi precedenti presentati in letteratura, che definivano un modello di rumore portuale basato su due sole categorie di sorgenti: industriali e di traffico.

Nel presente lavoro, dopo aver riassunto le informazioni di base richieste per il modello 3D, la classificazione delle sorgenti di rumore è stata estesa a cinque macrocategorie, ciascuna di diversa natura o utilizzo: sorgenti stradali, ferroviarie, navali, portuali e industriali. Ognuna di esse può essere soggetta a ulteriori suddivisioni in base alle modalità di funzionamento o collocamento. Il traffico stradale e ferroviario è diviso in interno, esterno legato al porto ed esterno non generato dal traffico portuale. Il rumore delle navi è suddiviso in fasi di movimento e di ormeggio per tutte le diverse categorie di navi. Di queste le più impattanti nei porti di interesse al progetto sono traghetti, RoRo, navi container, crociere, chimichiere, petroliere, pilotine e rimorchiatori. Le categorie portuali e industriali includono la maggior parte delle sorgenti e, generalmente, possono contenere le stesse sorgenti. Per esempio, straddle carriers, front-lifts, contstacker, carrelli elevatori, transtainers, gru mobili, trattori di banchina, e altre unità di movimentazione del carico possono essere usate per scopi industriali così come per attività portuali. Tuttavia, le sorgenti portuali includono tutte quelle che agiscono durante il carico e lo scarico di treni merci e navi o durante le operazioni di servizio delle navi. Ulteriori suddivisioni classificano le sorgenti in fisse o mobili e secondo le loro fasi operative, ad esempio il transito, la movimentazione o le operazioni di carico/scarico.

Una classificazione più dettagliata rispetto a quella tradizionale aiuterebbe le autorità competenti a identificare correttamente le responsabilità dell'emissione di rumore e dell'esposizione al rumore dei cittadini, un obiettivo che non è di ovvia realizzazione in un ambiente così complesso.

Inoltre, la classificazione delle sorgenti proposta suggerisce un approccio analitico nell'identificazione della posizione più adatta per le postazioni dei sistemi di monitoraggio che verranno realizzati nel progetto MON ACUMEN. Infatti, un aspetto critico emerso da questo studio è la difficoltà nella definizione delle posizioni di un ipotetico sistema di monitoraggio del rumore volto a identificare la sorgente responsabile delle lamentele dei cittadini e a correlare le attività portuali al rumore. Se realizzato correttamente, un sistema di monitoraggio in ambito portuale potrebbe contribuire alla definizione delle relazioni tra i parametri non acustici, come il tonnellaggio delle merci alla rinfusa scambiate o il numero totale di passeggeri, con l'emissione sonora media annua dell'infrastruttura. Ciò potrebbe consentire di realizzare mappe di rumore con un ingente risparmio in termini di risorse impiegate in caratterizzazione delle sorgenti e modellizzazione.

Infine, l'uso principale di questa classificazione è quello di favorire la definizione di procedure di misura specifiche per la caratterizzazione acustica delle sorgenti portuali. Infatti, mentre strade e ferrovie sono sorgenti di rumore ben note, le sorgenti portuali richiedono ancora attenzione da

parte della comunità scientifica. Verso l'obiettivo finale di definire le linee guida per la mappatura acustica negli ambienti portuali, una classificazione dettagliata della sorgente, cioè una migliore definizione degli input del modello, porterà a risultati migliori e a una valutazione più precisa dell'esposizione al rumore. Infine, l'attuazione di una strategia comune permetterà a tutti i porti di

essere allineati allo stesso standard e alle mappe di rumore prodotte di essere comparabili. La caratterizzazione dell'emissione di rumore di tutte le sorgenti durante le loro diverse fasi di funzionamento è in corso e un futuro lavoro si occuperà di questo specifico argomento.

Bibliografia

1. Review of Maritime Transport, UNCTAD/RMT/2018. Available online: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf (accessed on 22 December 2020).
2. Rossi, E.; Licitra, G.; Iacoponi, A.; Taburni, D. Assessing the underwater ship noise levels in the North Tyrrhenian Sea. In *The Effects of Noise on Aquatic Life II*; Springer: New York, NY, USA, 2016; pp. 943–949.
3. Merchant, N.D.; Pirotta, E.; Barton, T.R.; Thompson, P.M. Monitoring ship noise to assess the impact of coastal developments on marine mammals. *Mar. Pollut. Bull.* 2014, 78, 85–95, doi:10.1016/j.marpolbul.2013.10.058.
4. Erbe, C.; Marley, S. A.; Schoeman, R. P.; Smith, J. N.; Trigg, L. E.; Embling, C. B. The effects of ship noise on marine mammals—a review. *Frontiers in Marine Science* 2019, 6, 606, doi:10.3389/fmars.2019.00606.
5. Fredianelli, L.; Nastasi, M.; Bernardini, M.; Fidecaro, F.; Licitra, G. Pass-by characterization of noise emitted by different categories of seagoing ships in ports. *Sustainability* 2020, 12, 1740, doi:10.3390/su12051740.
6. Basner, M.; Babisch, W.; Davis, A.; Brink, M.; Clark, C.; Janssen, S.; Stansfeld, S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet* 2014, 383, 1325–1332, doi:10.1016/S0140-6736(13)61613-X.
7. Shield, B.M.; Dockrell, J.E. The effects of noise on children at school: A review. *Build. Acoust.* 2003, 10, 97–116, doi:10.1260/135101003768965960.
8. Stansfeld, S.A.; Matheson, M.P. Noise pollution: Non-auditory effects on health. *Br. Med. Bull.* 2003, 68, 243–257, doi:10.1093/bmb/ldg033.
9. Kawada, T. Noise and health—Sleep disturbance in adults. *J. Occup. Health.* 2011, 53, 413–416, doi:10.1539/joh.11-0071-RA.
10. Guski, R.; Schreckenberger, D.; Schuemer, R. WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review on environmental noise and annoyance. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14, 1539, doi:10.3390/ijerph14121539.
11. Del Pizzo, A.; Teti, L.; Moro, A.; Bianco, F.; Fredianelli, L.; Licitra, G. Influence of texture on tyre road noise spectra in rubberized pavements. *Appl. Acoust.* 2020, 159, 107080, doi:10.1016/j.apacoust.2019.107080.
12. Pieren, R.; Heutschi, K.; Wunderli, J.M.; Snellen, M.; Simons, D.G. Auralization of railway noise: Emission synthesis of rolling and impact noise. *Appl. Acoust.* 2017, 127, 34–45, doi:10.1016/j.apacoust.2017.05.026.
13. Tian, Y.; Wan, L.; Ye, B.; Yin, R.; Xing, D. Optimization Method for Reducing the Air Pollutant Emission and Aviation Noise of Arrival in Terminal Area. *Sustainability* 2019, 11, 4715, doi:10.3390/su11174715.
14. Licitra, G.; Fredianelli, L.; Petri, D.; Vigotti, M.A. Annoyance evaluation due to overall railway noise and vibration in Pisa urban areas. *Sci. Total Environ.* 2016, 568, 1315–1325, doi:10.1016/j.scitotenv.2015.11.071.

15. Wei, W.; Van Renterghem, T.; De Coensel, B.; Botteldooren, D. Dynamic noise mapping: A map-based interpolation between noise measurements with high temporal resolution. *Appl. Acoust.* **2016**, *101*, 127–140, doi:10.1016/j.apacoust.2017.05.026.
16. Kleizienė, R.; Šernas, O.; Vaitkus, A.; Simanavičienė, R. Asphalt Pavement Acoustic Performance Model. *Sustainability* **2019**, *11*, 2938, doi:10.3390/su11102938.
17. Teti, L.; et al. Modelling the acoustic performance of newly laid low-noise pavements. *Constr. Build. Mater.* **2020**, *247*, 118509, doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118509.
18. Wong, M.; Wang, T.; Ho, H.; Kwok, C.; Lu, K.; Abbas, S. Towards a smart city: Development and application of an improved integrated environmental monitoring system. *Sustainability* **2018**, *10*, 623, doi:10.3390/su10030623.
19. Zambon, G.; Benocci, R.; Bisceglie, A.; Roman, H.E.; Bellucci, P. The LIFE DYNAMAP project: Towards a procedure for dynamic noise mapping in urban areas. *Appl. Acoust.* **2017**, *124*, 52–60, doi:10.1016/j.apacoust.2016.10.022.
20. Gori, P.; Guattari, C.; Asdrubali, F.; de Lieto Vollaro, R.; Monti, A.; Ramaccia, D.; Toscano, A. Sustainable acoustic metasurfaces for sound control. *Sustainability* **2016**, *8*, 107, doi:10.3390/su8020107.
21. Danihelová, A.; Němec, M.; Gergel, T.; Gejdoš, M.; Gordanová, J.; Ščensný, P. Usage of Recycled Technical Textiles as Thermal Insulation and an Acoustic Absorber. *Sustainability* **2019**, *11*, 2968, doi:10.3390/su11102968.
22. Fredianelli, L.; Del Pizzo, A.; Licitra, G. Recent developments in sonic crystals as barriers for road traffic noise mitigation. *Environments* **2019**, *6*, 14, doi:10.3390/environments6020014.
23. Directive, E.U. Directive 2002/49/EC of the European parliament and the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. *Off. J. Eur. Communities L* **2002**, *189*, 2002.
24. Paschalidou, A.K.; Kassomenos, P.; Chonianaki, F. Strategic Noise Maps and Action Plans for the reduction of population exposure in a Mediterranean port city. *Sci. Total Environ.* **2019**, *654*, 144–153, doi:10.1016/j.scitotenv.2018.11.048.
25. Murphy, E.; King, E.A. An assessment of residential exposure to environmental noise at a shipping port. *Environ. Int.* **2014**, *63*, 207–215, doi:10.1016/j.envint.2013.11.001.
26. 16 Neptunes Project. Available online: <https://www.neptunes.pro/> (accessed on 22 December 2020).
27. Di Bella, A.; Tombolato, A.; Cordeddu, S.; Zanutto, E.; Barbieri, M. In situ characterization and noise mapping of ships moored in the Port of Venice. *J. Acoust. Soc. Am.* **2008**, *123*, 3262, doi:10.1121/1.2933567.
28. Santander, A.; Aspuru, I.; Fernandez, P. OPS Master Plan for Spanish Ports Project. Study of potential acoustic benefits of on-Shore power supply at berth. In *Proceedings of the Euronoise 2018*, Heraklion-Crete, Greece, 27–31 May 2018.
29. Badino, A.; Borelli, D.; Gaggero, T.; Rizzuto, E.; Schenone, C. Acoustical impact of the ship source. In *Proceedings of the 21st International Congress on Sound and Vibration*, Beijing, China, 13–17 July 2014; pp. 13–17.

30. Bernardini, M.; Fredianelli, L.; Fidecaro, F.; Gagliardi, P.; Nastasi, M.; Licitra, G. Noise assessment of small vessels for action planning in canal cities. *Environments* 2019, 6, 31, doi:10.3390/environments6030031.
31. Nastasi, M.; Fredianelli, L.; Bernardini, M.; Teti, L.; Fidecaro, F.; Licitra, G. Parameters Affecting Noise Emitted by Ships Moving in Port Areas. *Sustainability* 2020, 12, 8742, doi:10.3390/su12208742.
32. INTERREG Marittimo-IT FR-Maritime. Available online: <http://interreg-maritime.eu/> (accessed on 22 December 2020).
33. Schenone, C.; Pittaluga, I.; Borelli, D.; Kamali, W.; El Moghrabi, Y. The impact of environmental noise generated from ports: Outcome of MESP project. *Noise Mapp.* 2016, 1, doi:10.1515/noise-2016-0002.
34. Hanaoka, S.; Regmi, M.B. Promoting intermodal freight transport through the development of dry ports in Asia: An environmental perspective. *Iatss Res.* 2011, 35, 16–23, doi:10.1016/j.iatssr.2011.06.001.
35. Alsina-Pagès, R.M.; Socoró, J.C.; Barqué, S. Survey of Environmental Noise in the Port of Barcelona. In *Proceedings of the Euronoise—European Conference on Noise Control*, Crete, Greece, 27–31 May 2018.
36. Alsina-Pagès, R.M.; Socor, J.C.; Bergadà, P. The impact of man-made noise on the passenger transport stations of Port of Barcelona. In *Proceedings of the INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference*; Institute of Noise Control Engineering: Reston, VA, USA, 2019; Volume 259, pp. 6912–6922.
37. Badino, A.; Borelli, D.; Gaggero, T.; Rizzuto, E.; Schenone, C. Acoustic impact of ships: Noise-related needs, quantification and justification. In *the Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources. In Proceedings of the 14th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean, IMAM*, Genoa, Italy, 13–16 September 2011; CRC Press: Boca Raton, FL, USA; BalNema: 2011; 2, pp. 961–969.
38. Murphy, E.; King, E.A. Residential exposure to port noise: A case study of Dublin, Ireland. In *Proceeding of the 41st International Congress on Noise Control Engineering*, New York: Institute of Noise Control Engineering (INCE-USA), NY, USA, 19–22 August 2012.
39. Kim, R.; Van den Berg, M. Summary of night noise guidelines for Europe. *Noise Health* 2010, 12, 61, doi:10.4103/1463-1741.63204.
40. EcoPorts 2011. EcoPorts Project, Information Exchange and Impact Assessment for Enhanced Environmental-Conscious Operations in European Ports and Terminals, FP5. Available online: http://cordis.europa.eu/project/rcn/87079_en.html (accessed on 22 December 2020).
41. Witte, J. Noise from moored ships. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*; Institute of Noise Control Engineering: Reston, VA, USA, 2010; pp. 3202–3211.
42. Di Bella, A.; Remigi, F. Prediction of noise of moored ships. In *Proceedings of the Meetings on Acoustics ICA2013*, Montréal, QC, Canada, 1–7 June 2013; Volume 19, p. 010053.
43. Badino, A.; Borelli, D.; Gaggero, T.; Rizzuto, E.; Schenone, C. Noise emitted from ships: Impact inside and outside the vessels. *Procedia-Soc. Behav. Sci.* 2012, 48, 868–879, doi:10.1016/j.sbspro.2012.06.1064.

44. Di Bella, A.; Remigi, F.; Fausti, P.; Tombolato, A. Measurement methods for the assessment of noise impact of large vessels. In Proceedings of the 23rd International Congress on Sound & Vibration, Athens, Greece, 10–14 July 2016.
45. Fausti, P.; Santoni, A.; Martello, N.Z.; Guerra, M.C.; Di Bella, A. Evaluation of airborne noise due to navigation and manoeuvring of large vessels. In Proceedings of the 24th International Congress on Sound and Vibration, London, UK, 23–27 July 2017.
46. Bakogiannis, K.; Argyropoulos, D.; Dagres, P.; Fotiou, N.; Cambourakis, G. Residential exposure to port noise, mapping and sources identifications: A case study of Pireaus, Greece. In Proceedings of the 22nd International Congress on Sound and Vibration, Florence, Italy, 12–16 July 2015.
47. Bolognese, M.; Fidecaro, F.; Palazzuoli, D.; Licitra, G. Port noise and complaints in the north tyrrhenian sea and framework for remediation. *Environments* 2020, 7, 17, doi:10.3390/environments7020017.
48. Olszewski, G.C. Development and policy analysis of an effective noise management strategy for port metro Vancouver. In Proceedings of the Inter-Noise 2015, San Francisco, CA, USA, 9–12 August 2015.
49. Bjomstad, J.M. The Port Authority of New York and New Jersey noise management program. In Proceedings of the Inter-Noise 2015, San Francisco, CA, USA, 9–12 August 2015.
50. Puig, M.; Wooldridge, C.; Casal, J.; Darbra, R.M. Environmental reporting and communication—“Show me the evidence!”. In Proceedings of the GreenPort Congress, Antwerp, Belgium, 9–11 October 2013.

COLLECTE DE DONNÉES POUR LA SURVEILLANCE DU BRUIT PORTUAIRE

Davide Borelli, Tomaso Gaggero, Davide Gaudiello, Corrado Schenone, Emile Leonard Waffo Kamdem

Abstract

The impact of noise generated by harbour activities gained a very important role in the last years. While the evaluation of the noise impact of industrial plants and transportation is fully integrated in the activities of noise mapping in urban areas, a lack of regulation exists regarding the activities carried out in ports. The complaints of citizens living close to the harbours pushed the authorities to face the problem. In this context several EU Interreg Maritime research projects have been launched in last few years. Each project is focused on a specific aspect of the problem, but all of them have in common the implementation of a network of sensors aimed to the monitoring of the noise for long periods of time. Such monitoring activity will generate a huge amount of data that must be collected, integrated and stored in a proper database in order to be accessed in a second time. The data can then be used for the management of the harbour (e.g.: by changing the docking position of ships) or to support the decision making in terms of mitigation strategies. In this paper possible ways of storing and managing the data will be described.

1 Introduction

Le présent travail a pour but la conception et la réalisation d'une banque de données interopérable configurée avec un niveau d'accessibilité en mesure de garantir également la participation des ports qui ne sont pas directement impliqués dans le projet ; mais qualifiés et intéressés à partager la planification sur la surveillance acoustique. Cette banque de données regroupe les informations qui concernent l'activité opérative réelle qui se déroule à l'intérieur des ports et le bruit produit. La mesure directe du bruit produit dans le port est strictement corrélée à une correcte prédisposition des systèmes de surveillance acoustique qui décrivent le niveau de pollution acoustique compressif, au profit des ports eux-mêmes, des institutions compétentes pour la protection environnementale et de la citoyenneté exposée à la pollution. Tout ceci pour permettre une planification conjointe des interventions de réduction des niveaux de bruit, e permet aux décideurs portuaires, dans le choix de la localisation des activités portuaires, de programmer des opérations selon les principes de la durabilité environnementale.

2 Structure de la base de données

Le projet applicatif a été réalisé par avec Visual Studio 2019 Community edition, en langage C#. L'application a été pensée et structurée pour pouvoir répondre si nécessaire aux exigences spécifiques :

- Partage des données : les informations stockées dans une base de données doivent être accessibles par plus d'une personne au même moment.
- L'intégration des données : une base de données devrait être une collecte de données qui idéalement n'a pas de données redondantes.
- L'intégrité des données : elle doit refléter le sens général de l'apparence qui est destinée ;
-

- Sécurité de données : pour garantir l'intégrité d'une base de données il est nécessaire de limiter l'accès, diversifier les fonctions basées sur l'utilisateur et protéger les données ;
- L'abstraction des données : les informations stockées dans une base de données sont le plus souvent un support pour représenter les propriétés de certains objets ;
- L'indépendance des données : l'organisation des données doit être transparente et sauvegardée pour les utilisateurs et les programmes applicatifs qui s'alimentent de données, même si une modification est faite à une partie du système de l'application.

Le processus de réalisation de la base de données proposée est illustré de manière simplifiée à la figure 1 et a cinq classes à l'intérieur :

- Le développement du site Web réel : grâce au schéma MVC(Model-View-Controller), a été développée toute la partie de présentation utilisant les potentialités mises à disposition par le cadre .NET 4.5;
- Entités : ces classes ont pour unique objectif la communication ;
- Interfaces : permet d'énumérer toutes les interfaces nécessaires d'être mises en œuvre au cas où on aimerait partager des données ;
- DAL. SqlServer: dans cette session est contenue toute la logique d'accès aux données, y compris les entités de la base de données, écrites en "Entity Framework Code First " les migrations pour pouvoir créer et mettre à jour une base de données SQL Server et toutes les implémentations des interfaces ;
- Tool.AddUser: permet de créer le premier utilisateur actif.

Du point de vue pratique, tous les utilisateurs activés et en possession d'un ordinateur, tablette ou smartphone pourront choisir de visualiser des données provenant du secteur sélectionné en faisant un simple clic sur l'icône désirée.

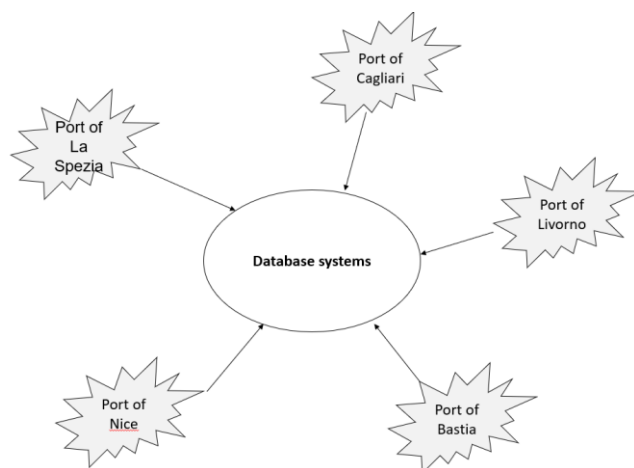


Figure 1: Design del database

3 Enregistrement et stockage des données

Le système peut être essentiellement subdivisé en deux parties (figure 2): l'unité d'acquisition des données installée dans des ports individuels et l'unité de collecte des données centralisée allouée sur un serveur. En détail :

- L'unité d'acquisition des données installée dans les ports individuels est positionnée à des points stratégiques afin de donner plus d'indications sur les responsabilités de l'émission

du bruit, sa tâche précise est l'acquisition des paramètres acoustiques et de leur envoi au serveur de collecte ;

- L'unité de collecte des données centralisée a pour tâche la réception des données, le stockage et leur publication en temps réel sur la page Web publique ou protégée.

L'unité d'acquisition des données est liée à l'unité de collecte par le biais d'un canal de transmission basée sur le réseau GPRS, réseau Ethernet /DSL, Wireless, etc... l'ensemble des systèmes ainsi configuré permet l'envoi des données à travers le support de transmission choisi pour un temps illimité, alors que les documents seront sauvegardés dans le système de fichier.

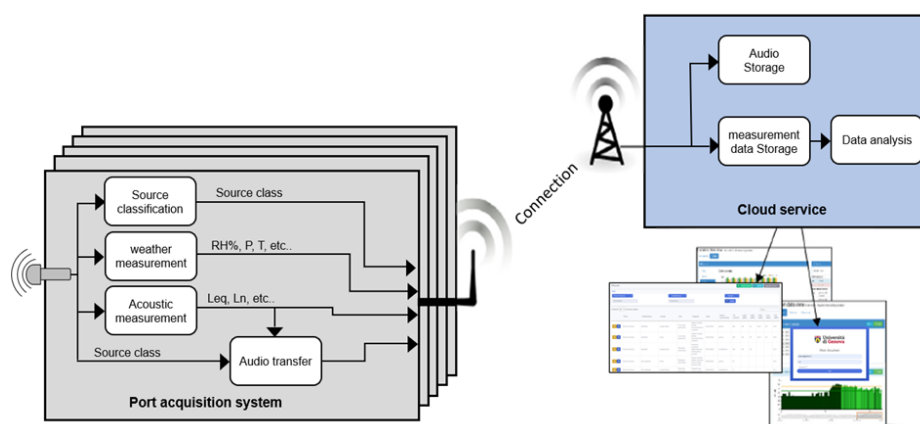


Figure 2: Fonctions du système de base de données

4 Gestion de la base de données

La base de données choisie est SQL Server (version express). Le modèle de la base de données a été défini selon le paradigme "code first " ; les classes en C# ont donc été écrites, lesquelles classes représentent les objets nécessaires pour faire fonctionner l'application, successivement, grâce aux migrations mises à disposition par l'entité cadre, a été créé le schéma de la base de données (figure 3).

Les entités principales sont :

- L'utilisateur : contient des données personnelles de chaque utilisateur ; un utilisateur peut avoir associé des rôles, et toutes les 34 opérations exécutées par lui sont enregistrées dans le tableau "Operations log"; au même moment, son nom est enregistré dans tous les documents chargés dans le système;
- Les mesures : contient toutes les données enregistrées dans le système ; chaque mesure, outre à toutes les données propres, est identifiée par un port et par deux types de mesures, typiquement caractéristique et durée (mais sont des champs configurables par l'utilisateur).

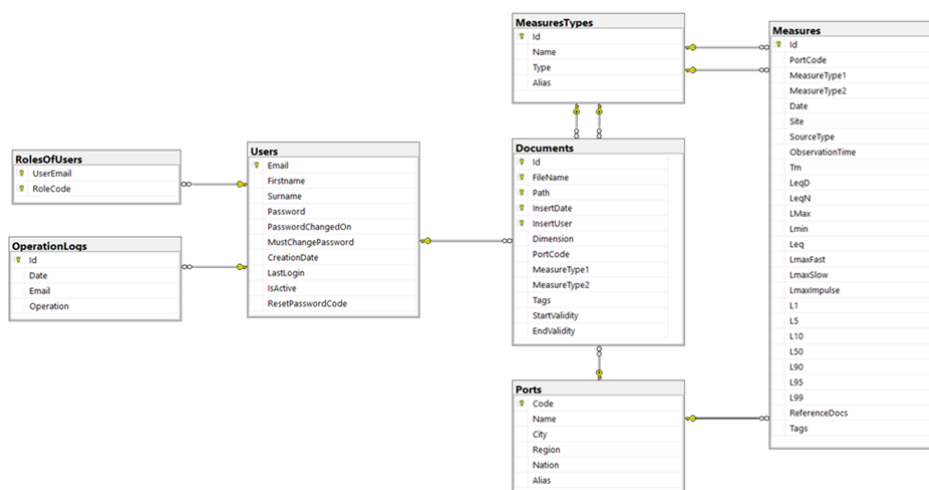


Figure 3:Layout de la base de données

5 Applications

Toutes les mesures acquises durant les activités sont disponibles dans la base de données dans : le fichier Excel o csv, le fichier audio WAV, le fichier audio-vidéo MP4 et documents photographiques. La base de données rend possible la comparaison des données obtenues par les systèmes de surveillance acoustique et météorologique et une interface d'échange qui facilite le partage transfrontalier. En outre, elle dispose dans son archive des fichus contenant une matrice des données qui favorise une classification acoustique du port basée sur la description, l'identification et la distribution dans l'espace et dans le temps des activités portuaires qui peuvent potentiellement contribuer au climat acoustique global généré à l'intérieur des zones portuaires. Ces activités portuaires sont effectuées par des moyens qui caractérisent les principales sources de bruit, qui peuvent être subdivisées en deux groupes : sources fixes et sources mobiles (trafic terrestre, trafic maritime).

Pour chaque source fixe sont reportés : le type de source, son emplacement dans le port, la durée opérative (horaire de début et fin d'activité), sa distance par rapport aux sites de mesure, les événements sonores mesurés, le nombre de mesures effectué, le nombre de cartes réalisé et le type d'alimentation (diesel ou électrique). Alors que pour chaque source mobile sont indiquées : les parcours et la géolocalisation dans la zone portuaire, le type d'opération effectué, sa distance des sites de mesure, les événements sonores mesurés, le nombre de mesures effectué, le nombre de cartes réalisé et le type d'alimentation (diesel ou électrique).

La description de chaque source fournit l'avantage incontestable d'avoir la cartographie acoustique toujours actualisée, permettant de connaître la cause de l'émission du bruit (niveau sonore en fréquence et dans le temps) en cas de problèmes critiques ou où plaintes de la part de la population. Le cadre descriptif des activités portuaires aidera toutes les entreprises portuaires de la zone de coopération à effectuer des investissements tout en étant conscients des retombées sur l'environnement, et à prédisposer des propres systèmes de prévention de la pollution associés à

des investissements plus respectueux de l'environnement, afin d'encourager de la part du décideur public le choix des équipements et installations moins polluantes pour les concessions portuaires.

6 Conclusions

Cet article décrit une méthodologie pour la capitalisation en temps réel de grandes quantités de données collectées à partir des systèmes de surveillance acoustique portuaires dans le projet de recherche UE Interreg Maritime. Les avantages de cette méthodologie sont multiples: élimine complètement les problèmes dus aux limites de l'espace de mémoire, permet le téléchargement des données sans devoir se déplacer et permet un partage interne de données plus facile et efficace entre les ports impliqués dans le projet. En outre, garantit l'accessibilité et la participation des ports qui ne sont pas directement impliqués dans le projet, mais qui sont qualifiés et intéressés à partager la planification sur la surveillance acoustique, afin de pouvoir former un regroupement des informations qui concernent l'activité opérationnelle réelle qui se déroule à l'intérieur des ports et le bruit produit.

Enfin, l'incorporation d'un nombre plus grand d'enregistrements dans la banque de données est très utile pour la détection, la classification, l'identification et le suivi des principales sources de bruit acoustique dans les zones portuaires

Bibliographie

1. M. Weber, Urban development in the port area of Rotterdam: Challenging noise constraints, 8th European Conference on Noise Control 2009, EURONOISE 2009 - Proceedings of the Institute of Acoustics, v 31, n PART 3, 2009.
2. Lercher, P.; Evans, G.W.; Meis, M. Ambient noise and cognitive processes among primary schoolchildren. *Environ. Behav.* 2003, 35, 725–735
3. Basner, M.; Babisch, W.; Davis, A.; Brink, M.; Clark, C.; Janssen, S.; Stansfeld, S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet* 2014, 383, 1325–1332.
4. Guski, R.; Schreckenber, D.; Schuemer, R. WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review on environmental noise and annoyance. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14, 1539.
5. Hygge, S.; Evans, G.W.; Bullinger, M. A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in schoolchildren. *Psychol. Sci.* 2002, 13, 469–474.
6. Lercher, P.; Evans, G.W.; Meis, M. Ambient noise and cognitive processes among primary schoolchildren. *Environ. Behav.* 2003, 35, 725–735
7. Recio, A.; Linares, C.; Banegas, J.R.; Díaz, J. Road traffic noise effects on cardiovascular, respiratory, and metabolic health: An integrative model of biological mechanisms. *Environ. Res.* 2016, 146, 359–370.
8. Dratva, J.; Phuleria, H.C.; Foraster, M.; Gaspoz, J.M.; Keidel, D.; Künzli, N.; Liu, L.J.; Pons, M.; Zemp, E.; Gerbase, M.W.; et al. Transportation noise and blood pressure in a population-based sample of adults. *Environ. Health Perspect.* 2011, 120, 50–55.
9. Van Kempen, E.; Babisch, W. The quantitative relationship between road traffic noise and hypertension: A meta-analysis. *J. Hypertens.* 2012, 30, 1075–1086.
10. Jarup, L.; Babisch, W.; Houthuijs, D.; Pershagen, G.; Katsouyanni, K.; Cadum, E.; Dudley, M.L.; Savigny, P.; Seiffert, I.; Swart, W.; et al. Hypertension and exposure to noise near airports: The HYENA study. *Environ. Health Perspect.* 2007, 116, 329–333.
11. A. Badino, D. Borelli, T. Gaggero, E. Rizzuto, C. Schenone, Source Airborne noise emissions from ships: Experimental characterization of the source and propagation over land, *Applied Acoustics*, v 104, p 158-171, 2016.
12. Aglaia Badino, Davide Borelli, Tomaso Gaggero, Enrico Rizzuto, and Corrado Schenone. Normative framework for ship noise: Present and situation and future trends. *Noise Control Engineering Journal*, 60(6):740–762, 2012.
13. C. Schenone, I. Pittaluga, S. Repetto, D. Borelli, Noise pollution management in ports: A brief review and the eu MESP project experience, 21st International Congress on Sound and Vibration 2014, ICSV 2014, v 2, p 1364-1371, 2014
14. Fillinger L, de Theije P, Zampolli M, Sutin A, Salloum H, Sedunov N, et al. Towards a passive acoustic underwater system for protecting harbours against intruders. In: *Waterside Security Conference (WSS), 2010 International. IEEE; 2010.* p. 1–7.
15. Chung KW, Sutin A, Sedunov A, Bruno M. DEMON acoustic ship signature measurements in an urban har-bor. *Adv Acoust Vibr.*

16. Schenone, C., Borelli, D., Pallavidino, E., Yousseu, A., Gaggero, T., Waffo, E., The Port Noise Analysis and Control in Interreg Italy-France Maritime Programme. 48th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering INTER-NOISE2019, 16-19 June 2019, Madrid, Spain.
17. <http://interreg-maritime.eu/it/web/pc-marittimo/programme> [accessed on 28th February 2019] (in Italian)

CLASSIFICATION DES SOURCES DE BRUIT POUR LA CARTOGRAPHIE DU BRUIT DANS LA ZONE PORTUAIRE

Luca Fredianelli, Matteo Bolognese, Francesco Fidecaro, Gaetano Licitra

Abstract

Maritime transportation is recognized to have advantages in terms of environmental impact compared to other forms of transportation. However, an increment in traffic volumes will also produce an increase in noise emissions in the surroundings for a greener source, as ports are frequently surrounded by urban areas. When more sources or higher noise emissions are introduced, the noise exposure of citizens increases, and the likelihood of official complaints rises. As a consequence, among the most demanding aspects of port management is effective noise management aimed at a reduction in the exposure of citizens while ensuring the growth of maritime traffic. At the same time, the topic has not been thoroughly studied by the scientific community, mostly because port areas are challenging from a noise management point of view; they are often characterized by a high degree of complexity, both in terms of the number of different noise sources and their interaction with the other main transportation infrastructure. Therefore, an effective methodology of noise modeling of the port area is currently missing. With regard to the INTERREG Maritime Program, the present paper reports a first attempt to define noise mapping guidelines. On the basis of the current state-of-the-art and the authors' experiences, noise sources inside port areas can be divided into several different categories: road sources, railway sources, ship sources, port sources, and industrial sources. A further subdivision can be achieved according to the working operation mode and position of the sources. This classification simplifies actions of identification of the responsible source from control bodies, in the case that noise limits are exceeded or citizen complaints arise. It also represents a necessary tool to identify the best placing of medium/long-term noise monitoring stations. The results also act as a base for a future definition of specific and targeted procedures for the acoustic characterization of port noise sources.

1 Introduction

Le trafic maritime a vu ses volumes augmenter régulièrement ces dernières années et, malgré la récente urgence pandémique, il devrait continuer à croître [1]. Sans une gestion appropriée, cela entraînera inévitablement une augmentation des émissions sonores. Il est connu [2-4] que les navires en haute mer ont un impact non négligeable sur les mammifères marins, qui utilisent des signaux acoustiques sous-marins à longue portée. D'autre part, le navire est une source de bruit mobile caractérisé par une part d'émission élevée et un spectre très large avec des composantes tonales basses fréquences capables de se propager sur de grandes distances [5]. Compte tenu des nombreuses activités liées au port, qui fait souvent aussi office de pôle industriel, celui-ci constitue une zone à fort potentiel d'émissions sonores, qui est aussi très souvent située à proximité de grandes agglomérations. À travers le monde, les ports qui représentent des problèmes critiques pour les communautés environnantes pourraient être nombreux, cependant, à l'heure actuelle, il existe très peu d'estimations sur l'exposition des citoyens au bruit des ports. En l'absence d'une

gestion adéquate et avec l'augmentation inévitable des volumes de trafic, l'impact du bruit ne fera que s'aggraver dans les années à venir. Des émissions sonores excessives et les plaintes des citoyens qui en découlent pourraient également compromettre la croissance naturelle du trafic maritime.

De nos jours, il est reconnu qu'une exposition prolongée au bruit peut affecter directement ou indirectement la santé humaine. Les effets directs peuvent également entraîner une perte auditive permanente ; ils surviennent lorsque les niveaux de pression acoustique dépassent 75 dB (A), cependant ces effets dépendent de la durée d'exposition et de la sensibilité de l'individu. La prévention des effets directs a été un succès au cours des dernières décennies, amenant l'exposition des citoyens bien en dessous du seuil des effets directs, à l'exception de ce qui se passe sur le lieu de travail [6]. Cependant, en deçà de ce seuil, des effets indirects peuvent survenir, tout aussi importants en cas d'exposition prolongée. Les difficultés d'apprentissage des élèves dues à une intelligibilité réduite de la parole en classe [7], l'hypertension et les maladies cardiovasculaires [8], les troubles du sommeil [9] et les troubles [10] sont les effets indirects (ou inouïs) les plus importants sur la santé causés par la pollution sonore. . . Pour prévenir ces effets, la communauté scientifique a minutieusement étudié les principales infrastructures et industries de transport, qui constituent les sources les plus impactantes sur le territoire. Le trafic routier et ferroviaire, ainsi que les aéroports, ont reçu beaucoup d'attention de la communauté scientifique à tous égards: mécanismes de génération de bruit [11-13]; abattre; la cartographie de leur impact sur le territoire et sur la population [14,15] ; et l'atténuation grâce à des solutions innovantes, telles que des sols silencieux fabriqués à partir de matériaux recyclés [16,17], des systèmes de surveillance en temps réel [18,19] et diverses solutions d'atténuation durables [20 -22].

La marginalisation du bruit portuaire par rapport aux autres infrastructures commence au niveau réglementaire, où le bruit portuaire n'est jamais traité de manière adéquate et est exclu des cartes stratégiques de bruit requises en lieu et place de la Directive Européenne sur le Bruit (END) [23] uniquement pour les routes principales, les voies ferrées , aéroports et centres urbains. Par conséquent, les ports ont été peu étudiés dans le passé et ce n'est que ces dernières années que des études ou des projets ont été menés concernant leur impact sonore [24-26]. Visant à la caractérisation acoustique des sources d'un navire, plusieurs auteurs ont étudié le bruit émis aux amarres [27-29], alors que nos travaux précédents ont porté sur les petits et grands navires en mouvement [30,31].

L'évaluation de l'exposition au bruit est réalisée à l'aide de cartes de bruit, pour la réalisation desquelles il est nécessaire de décrire acoustiquement la zone d'étude. Dans le cas d'un port, outre les navires, il existe une grande variété de sources, toutes caractérisées par des émissions sonores différentes (grues, chariots élévateurs, reach stackers, etc...).

La fase di mappatura acustica non ha beneficiato dall'attuale livello conoscenza del rumore portuale. Infatti, per definire correttamente gli output della mappatura, un modello di rumore ha bisogno di input precisi, cioè la migliore caratterizzazione acustica possibile delle sorgenti.

La phase de cartographie du bruit n'a pas bénéficié du niveau actuel de connaissance du bruit portuaire. En effet, pour définir correctement les sorties de mapping, un modèle de bruit a besoin d'entrées précises, c'est-à-dire la meilleure caractérisation acoustique possible des sources. Pour améliorer cette situation, le programme INTERREG Maritime [32] aborde le problème du bruit portuaire sous différents angles à travers une série de projets. Précisément parce que la littérature actuelle est rare et encore balbutiante, les projets doivent agir rapidement, en définissant des lignes

directrices pour la cartographie acoustique dans les environnements portuaires. Un tel résultat permettra à tous les ports d'adhérer à une norme commune, afin d'obtenir des résultats comparables.

Après avoir présenté le programme INTERREG Maritime, ce document exposera la problématique de la caractérisation acoustique d'une zone portuaire en s'appuyant sur l'expérience de terrain des auteurs et l'analyse de la littérature scientifique. De manière générale, la proximité des zones densément peuplées, les nombreuses sources de bruit présentes, le trafic routier et ferroviaire induit par le port et l'absence de réglementation spécifique sont les aspects les plus cités comme obstacle à la cartographie à partir des sources étudiées. L'analyse effectuée montre comment une caractérisation acoustique correcte des principales sources agissant dans les ports est encore un problème non résolu en raison des nombreuses et différentes sources et problèmes qui surviennent lors de la réalisation de mesures de bruit dans un environnement aussi complexe et avec un bruit de fond non négligeable.

2 Le programme INTERREG Maritime

Le programme INTERREG Maritime Italie-France 2014-2020 a été conçu pour combler le manque de connaissances sur le bruit portuaire. Plusieurs projets sont en cours afin de décrire l'état de l'art actuel et d'identifier les meilleures pratiques en termes de durabilité à long terme dans la zone nord de la mer Tyrrhénienne. Les projets actuellement approuvés, qui visent à évaluer différents aspects du bruit portuaire, sont :

- RUMBLE: vise à construire des infrastructures de réduction du bruit dans les grands ports;
- MON ACUMEN: a pour objectif de développer un système de surveillance commun sur les ports de la mer Tyrrhénienne septentrionale;
- REPORT: vise à développer des modèles de simulation, des stratégies d'évaluation et de contrôle du bruit en produisant des lignes directrices;
- DECIBEL: vise la création d'infrastructures pour la réduction du bruit dans les petits ports;
- L.I.S.T. PORT: vise à développer des modèles de logistique et de gestion du trafic pour les véhicules légers et lourds à destination et en provenance des ports.

Les partenaires impliqués dans cette grappe de projets sont:

- trois universités italiennes (Université de Cagliari, Université de Gênes, Université de Pise);
- une université française (Université de Corse Pasquale Paoli);
- la région Ligurie, deux associations de communes (ANCI Liguria, ANCI Toscana);
- les autorités portuaires des ports italiens concernés (Cagliari, Gênes, La Spezia, Livourne, Portoferraio);
- l'Agence de protection de l'environnement de la région Toscane (ARPAT), deux communes (Nice, Costa Azzurra, Olbia);
- deux chambres de commerce et d'industrie françaises (Nice, Bastia);
- le centre de recherche français CSTB, l'Office des transports de Corse.

A la fin des activités de recherche, le projet REPORT agrégera tous les résultats obtenus dans tous les différents projets pour les synthétiser et les exploiter.

Les résultats présentés dans ce document ont été obtenus grâce aux efforts déployés lors des trois projets impliquant les grands ports, à savoir RUMBLE, MON ACUMEN et REPORT.

RUMBLE est l'acronyme français de « Noise Reduction in Large Port Cities in the Cross-Border Maritime Program ». Le programme vise à réduire les émissions sonores des ports et des infrastructures logistiques en développant des infrastructures de réduction du bruit dans les grands ports. L'analyse de l'état de l'art du bruit portuaire en termes de technologies disponibles et de perception citoyenne du bruit portuaire constitue la première étape de son programme. En collaboration avec MON ACUMEN et REPORT, un questionnaire commun a donc été établi, pour collecter toutes les données disponibles sur le bruit portuaire dans la zone d'intérêt, et pour réaliser une enquête sur la perception du bruit portuaire par les citoyens locaux. Puis, après des campagnes de surveillance pré-construction, les infrastructures anti-bruit ont été créées, et les campagnes de surveillance post-construction sont sur le point d'être menées pour évaluer les bénéfices obtenus. MON ACUMEN signifie « MONitorage Actif Conjoint Urbain-MaritimE de la Nuisance » (surveillance active collective du bruit urbain et maritime). L'objectif de ce projet est d'aborder la surveillance et la gestion du bruit dans la zone portuaire, afin de permettre aux autorités portuaires de gérer les activités portuaires de manière durable. Le projet a commencé par une analyse approfondie de l'état de l'art du bruit portuaire, la surveillance du bruit, la mesure du bruit et la caractérisation acoustique des sources de bruit spécifiques au port. Des cartes de bruit des ports concernés sont nécessaires pour concevoir correctement l'infrastructure de surveillance. Plus précisément, une relation entre les différentes activités portuaires et les niveaux de bruit aux récepteurs permettra d'identifier correctement les stations de surveillance. L'objectif est de construire un système de surveillance intégré qui suit des règles communes pour tous les ports de la zone, qui permet une surveillance simultanée en temps réel du bruit dans tous les ports et, dans le cas où le bruit dépasse les limites, évaluer les responsabilités.

Par rapport aux projets décrits ci-dessus, REPORT aborde la question du bruit portuaire d'un point de vue plus théorique, visant à développer des modèles qui conduisent à une meilleure compréhension du phénomène. En particulier, le projet se concentre sur les modèles suivants :

- modélisation des navires comme source de bruit et développement d'un outil intégré capable de gérer le bruit des navires de manière similaire au bruit ferroviaire et routier dans le logiciel commercial MithraSIG;
- développement d'un réseau neuronal spécialisé dans l'analyse des flux de trafic capable de prévoir en temps réel les niveaux de bruit sur la base des données de flux de trafic et de la composition du trafic;
- analyse des dernières technologies de propulsion (ie : électrique, hybride, pile à combustible et gaz naturel liquéfié) en termes de réduction du bruit lorsqu'elles sont adoptées par les unités de manutention de fret dans les zones portuaires et estimation de la réduction globale du bruit basée sur l'adoption de ces technologies ;
- évaluation économétrique des coûts sociaux générés par les nuisances sonores dans la zone portuaire.

A l'exception du dernier modèle, ils sont tous en phase de validation. La validation du modèle de bruit dans les zones portuaires sera suivie d'un document final qui présentera l'ensemble des résultats produits au cours du programme INTERREG Maritime.

3 Les problèmes de bruit de port

Cette section rapporte les enjeux critiques dans un environnement portuaire d'un point de vue acoustique qui ont émergé des travaux internationaux publiés ou des expériences directes des auteurs dans certains des ports les plus importants de la mer Méditerranée.

Les principaux problèmes liés au bruit des ports peuvent être résumés en quatre points:

- proximité des zones urbaines aux zones bruyantes;
- d'innombrables sources qui diffèrent également en termes d'émissions;
- trafic lié aux opérations portuaires;
- absence de réglementation spécifique.

Paschalidou et al., en 2018, [24], ont décrit la zone portuaire du Pirée (Grèce) comme un environnement complexe qui rend une représentation complète du climat acoustique tout sauf simple. Les auteurs ont également souligné la présence simultanée et conflictuelle d'autres grandes infrastructures de transport et activités industrielles. Ceci est un exemple de la complexité sous-jacente de la cartographie du bruit portuaire, qui devrait inclure tous les types de sources requis par la directive européenne sur le bruit (END). L'ouvrage grec rapporte la présence d'établissements humains dans les environs, sans approfondir le sujet ; cependant, cela complique encore la situation et peut potentiellement déranger ou gêner la population. De plus, Paschalidou et al. a souligné que l'impact des activités portuaires telles que le transport de conteneurs et les chantiers navals peut s'étendre sur de longues distances en raison du flux énorme de trafic de poids lourds qu'elles génèrent.

Un scénario similaire a été décrit par Schenone et al. en 2016 avec les résultats du projet MESP [33], concentré sur certains ports importants de la mer Méditerranée tels que Patras (Grèce) et Tripoli (Libye). La plupart des ports étudiés présentaient une médecine problématique :

"(...) s'ils ne sont pas bien planifiés et gérés, ils (les ports) peuvent également constituer une menace pour la santé des citoyens vivant dans les environs. En effet, une gestion et un développement inappropriés et non durables des ports conduisent généralement à des relations difficiles avec les zones urbaines en termes d'utilisation des sols, de pollution et de qualité de vie des citoyens".

De plus, Schenone et al. [33] dans une étude menée pour la réduction du bruit dans le port de Tripoli, ils ont accordé une attention particulière au bruit produit par les véhicules/machines spécifiquement utilisés dans la zone portuaire, suggérant la maintenance des équipements portuaires tels que les grues, les chariots élévateurs, mais aussi des camions et des véhicules. Les interventions de motivation concernaient uniquement le bruit généré par le trafic routier à travers la pose d'enrobés insonorisants, la réduction des valeurs limites le long des routes, l'interdiction d'utiliser le klaxon, l'introduction de ralentisseurs et de croisements.

Cependant, en plus du trafic, les zones portuaires et routières présentent une grande variété d'activités industrielles bruyantes, de la construction navale à l'industrie pétrolière et gazière, en passant par les installations de stockage de céréales, la transformation du papier et bien d'autres. La présence d'installations industrielles contribue de deux manières différentes au niveau de complexité : en ajoutant plus de trafic à l'intérieur et à l'extérieur des limites du port et en ajoutant plus de sources de bruit dans la zone, y compris les machines industrielles et les véhicules de chargement/déchargement.

A proximité des zones portuaires, les principales infrastructures de transport se situent généralement autour du port, car celui-ci agit souvent comme une plaque tournante de transport où toutes les infrastructures terrestres convergent vers les routes maritimes.

Afin de réduire l'impact environnemental du commerce international ces dernières années, un effort important a été fait pour promouvoir l'intermodalité [34]. Sur les moyennes et longues distances, la mise en place de l'intermodalité favorise généralement l'usage du transport maritime malgré celui de la route rail : de ce fait, de plus en plus de trafics terrestres seront détournés vers les ports.

Une récente campagne de surveillance menée par Alsina-Pagès et al. [35] a reconnu la nécessité d'une surveillance du bruit dans le port de Barcelone, notant dans des travaux ultérieurs [36] que:

"Les ports sont des nœuds logistiques caractérisés par différents types de bruit, qui peuvent généralement survenir simultanément dans les mêmes zones portuaires: les ferries, les croisières, les navires de pêche et commerciaux coexistent avec d'autres services industriels et auxiliaires".

Comme déjà mentionné, les ports sont généralement entourés d'agglomérations urbaines. Ainsi, de nombreux habitants peuvent être exposés au bruit portuaire, directement ou indirectement en raison du trafic terrestre induit. De plus, les activités portuaires ont un impact significatif sur le bruit même la nuit [37], lorsque les activités humaines en ville diminuent généralement. Le bruit de fond plus faible signifie que le bruit de la zone portuaire est encore plus important et affecte le paysage sonore à de plus grandes distances.

Murphy et King [38] ont étudié l'exposition au bruit des citoyens vivant à proximité du port de Dublin. Leurs résultats ont montré que les citoyens étaient exposés au bruit au-dessus des limites suggérées pour l'exposition nocturne [39], avec des composantes de basse fréquence importantes. Enfin, les navires représentent une source de bruit particulière dans la zone portuaire et sont très variables en termes de taille, de puissance sonore et de spectre sonore. Les opérations de chargement et de déchargement doivent être envisagées afin d'évaluer correctement les émissions sonores des navires. Le projet Eco.Port rapporte que la principale difficulté rencontrée lors de la caractérisation de l'émission sonore des navires était l'évaluation correcte du bruit de fond, fortement influencé par le bruit émis par les activités urbaines autour des ports et canaux de Venise [40].

L'étude du bruit produit par les navires est très exigeante et nécessite une caractérisation spécifique pour chaque phase qui se produit lors de leur séjour dans le port : manutention ; manœuvres d'amarrage et opérations terrestres. De plus, chaque catégorie de navire a un certain nombre d'opérations particulières et peut émettre de différentes manières, ce qui rend impossible la généralisation des résultats. Certaines études ont été consacrées exclusivement aux navires amarrés, au bruit des machines qui se propagent par les vibrations de la coque, au bruit aérodynamique produit par les cheminées, aux systèmes de chauffage et de ventilation [28,29,41,42]. Cependant, moins d'attention a été accordée aux grues ou aux opérations de chargement/déchargement. De plus, le bruit des navires en mouvement a été étudié [43-45], mais une caractérisation correcte de l'émission sonore des navires divisée par catégories n'a été rapportée que l'année dernière [30,31].

Comme le soulignent des auteurs de différentes régions du monde, l'absence de réglementation spécifique concernant la gestion du bruit dans les zones portuaires semble être un dénominateur commun [46-51].

En résumé, le port présente de nombreux aspects critiques, tels que le nombre élevé de sources fonctionnant dans la zone portuaire qui fonctionnent en continu et de manière chaotique, le trafic

induit par les activités portuaires qui produisent du bruit en dehors des limites du port et se mélangent avec des circulation. Tous ces problèmes sont également apparus dans les sept ports de la mer Tyrrhénienne du Nord impliqués dans les projets Rumble, Report et Mon Acumen. Hors port de Portoferraio, les ports concernés sont parmi les plus importants d'Italie et de France et, bien sûr, de toute la Méditerranée. La figure 1 montre sur une carte les positions et l'implication des ports dans les différents projets.

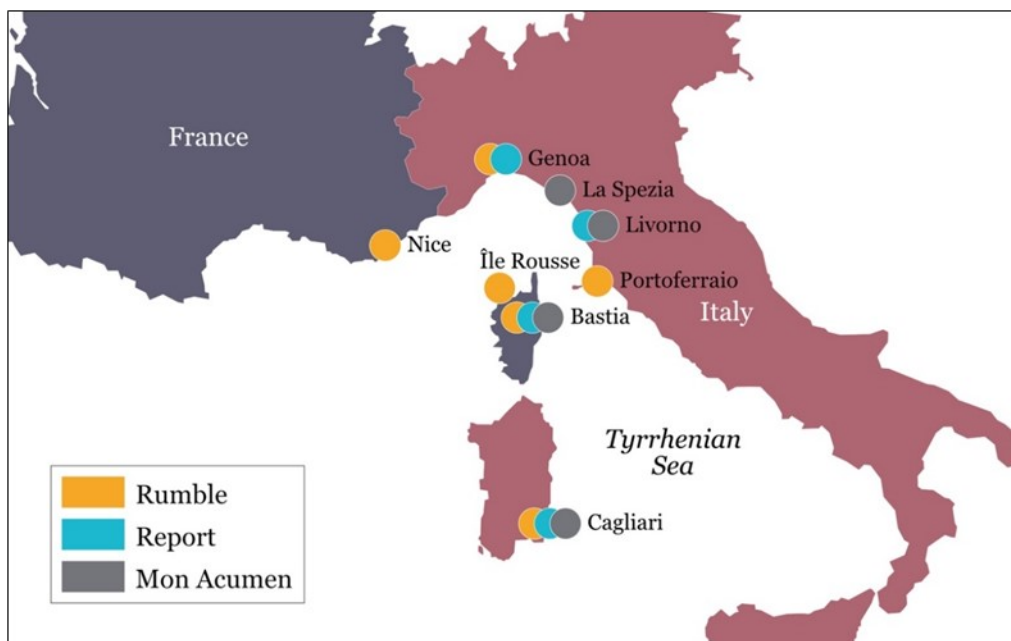


Figure 4: Les ports impliqués dans les trois projets du programme INTERREG Maritime : Rumble, Report et Mon Acumen.

Une partie du projet MON ACUMEN consistera en la réduction en pulpe acoustique des ports de Bastia, La Spezia, Livourne et Cagliari. Ces ports sont entourés d'une zone urbaine densément habitée et par d'importantes routes urbaines qui se trouvent entre la zone portuaire et la ville. En outre, les chemins de fer sont également présents dans trois des ports, principalement utilisés pour le transport de marchandises. D'autres ports du programme INTERREG ont des caractéristiques très similaires, en particulier le port de Gênes, où toutes les criticités sont présentes dans un autre scénario complexe. Le port de Gênes, impliqué dans les projets REPORT et RUMBLE, est le plus important de la zone en termes de flux de passagers et de marchandises et l'un des ports les plus importants de la Méditerranée. En outre, toute la ville de Gênes entourée au sud par les limites du port et au nord par les pentes des Apennins ligures, une condition favorable à la propagation et à la réflexion des rayons sonores. Par conséquent, la population est encore plus exposée au bruit portuaire. Entre le port et la ville, il y a aussi des autoroutes et de grandes infrastructures ferroviaires.

À titre d'exemple du degré de complexité des réalités portuaires, les figures 2 et 3 représentent les ports de Gênes et de Livourne, où des couleurs ont été attribuées aux différentes zones portuaires en fonction de l'utilisation prévue. Comme vous pouvez le voir, il existe de nombreuses zones industrielles entourées de zones densément peuplées.

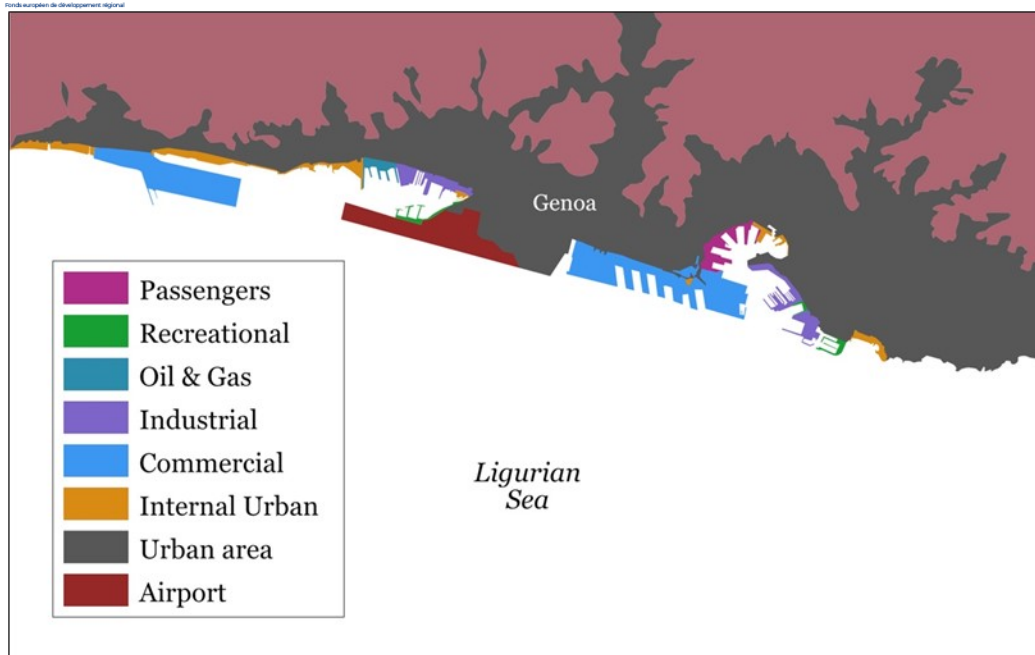


Figure 5: Le scénario complexe de la ville de Gênes, où la zone portuaire est complètement entourée par la ville.

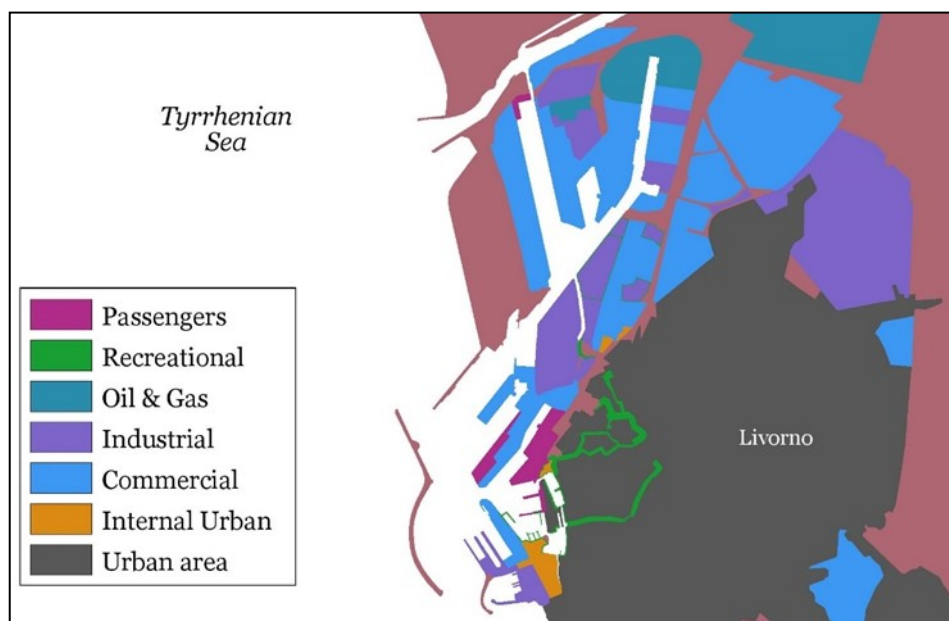


Figure 6: Le scénario complexe de la ville de Livourne, même équipé de canaux navigables à l'intérieur du centre historique.

4 Classification des sources de bruit portuaire

Dans ce chapitre, nous décrirons les éléments fondamentaux pour la création d'une carte acoustique précise, c'est-à-dire un modèle 3D de la zone d'étude, une base de données qui comprend toutes les sources de bruit impliquées et, bien sûr, la classification acoustique des principales sources de bruit présentes. . . . Le premier sous-chapitre décrit les exigences de base communes à tous les types de cartes de bruit, tandis que le second décrit la subdivision en catégories de sources portuaires.

4.1 Informations de base pour le modèle 3D

Un modèle 3D complet de la zone est l'ingrédient de base pour une cartographie précise du bruit. Les informations nécessaires doivent être bien connues des autorités portuaires, qui sont généralement en mesure de les fournir, même si elles peuvent ne pas être à jour.

Une répartition simple des données géographiques pourrait être la suivante:

- données morphologiques;
- données topographiques;
- construit.

Les points d'élévation et les contours sont des points clés pour la construction du modèle numérique de terrain (MNT). Un MNT correct est essentiel pour un calcul précis de la propagation du bruit, ainsi que pour un positionnement correct des bâtiments et des sources. Par exemple, les routes et les voies ferrées ne sont parfois fournies que sur une carte en deux dimensions, qui doit ensuite être placée sur le MNT. D'autre part, dans le cas où les cartes des infrastructures de transport sont également équipées de hauteurs d'élévation, celles-ci peuvent être utilisées pour le calcul du MNT, permettant d'obtenir un modèle plus précis.

Ainsi, les éléments tridimensionnels qui pourraient interférer avec la propagation du son doivent être inclus dans le modèle 3D et doivent être soigneusement placés sur le MNT. Les données suivantes doivent être collectées et soigneusement examinées:

- bâtiments résidentiels et industriels, y compris leur hauteur;
- récepteurs sensibles (écoles, hôpitaux);
- obstacles tels que murs antibruit, piles de conteneurs, etc..

Il faut aussi connaître la répartition de la population sur le territoire et donc le nombre d'habitants de chaque immeuble d'habitation, ainsi que le nombre d'élèves dans les écoles et de patients dans les hôpitaux. En effet, en cas de dépassement des niveaux limites, la priorité des interventions d'atténuation du bruit est calculée en fonction du nombre d'habitants exposés.

Pour chaque infrastructure de transport, en revanche, les données sur les flux de trafic moyens annuels devront être acquises.

Un résumé des éléments nécessaires à la réalisation du modèle est présenté dans le tableau 1.

Tableau 1: Données d'entrée pour le modèle 3D. Pour chaque élément il est indiqué s'il est nécessaire à la réalisation du MNT, s'il constitue une source de bruit, s'il héberge des récepteurs et s'il interfère avec la propagation du son.

Éléments géographiques	Obligatoire pour le DTM	Sources sonores	Récepteurs	Propagation
Points d'élévation et sorties	Oui			X
Bâtiments industriels et résidentiels	Non		X	X
Obstacles	Non			X
Routes	Oui si équipé de points d'élévation	X		
Chemins de fer	Oui si équipé de points d'élévation	X		
Industries		X		X
Utilisation des terres (Corine land cover)				X

4.2 Subdivision des sources de bruit en macro-catégories

La première subdivision des sources de bruit dans la zone portuaire peut être attribuée au projet NoMEPorts [52], où les sources possibles ont été divisées en catégories "sources industrielles" ou "sources de trafic". Sur la base de l'expérience acquise avec l'analyse de l'état de l'art du bruit portuaire [47], une classification améliorée est proposée ici.

Les auteurs estiment que l'inclusion dans un grand groupe de toutes les sources autres que les routes et les voies ferrées n'est pas adéquate car le bruit produit par des activités ou des sources très différentes entrerait dans une catégorie telle que:

- bruit des navires (en mouvement ou amarrés);
- le bruit produit par la pléthore d'installations industrielles généralement présentes dans une zone portuaire;
- le bruit produit par les activités portuaires (opérations de chargement et de déchargement, manutention de conteneurs, opérations de service des bateaux, etc.).

Surtout, en cas de dépassement des limites, le véritable responsable doit agir pour l'atténuer. Par conséquent, le fait d'avoir les trois classes source incluses dans des groupes différents facilite la tâche d'attribution de la responsabilité de remplacement. À cet égard, une subdivision supplémentaire en sous-classes peut aider à identifier correctement les responsabilités.

Les macro-catégories ainsi définies sont les suivantes :

- sources routières ;
- sources ferroviaires ;
- ressorts navals ;
- sources portuaires ;
- sources industrielles.

Afin de rendre plus précise l'attribution des responsabilités, une différenciation géographique supplémentaire a été établie à partir du fait qu'une zone portuaire est, par nature, entourée et pénétrée par d'autres infrastructures de transport. Si le trafic routier ou ferroviaire à l'intérieur des limites du port est évidemment lié aux activités portuaires, en dehors des frontières, le trafic lié au port se mélange à celui de la ville. Ainsi, bien qu'elle puisse paraître difficile à appliquer, la différenciation suivante est nécessaire tant pour les métiers de la route que du rail :

- trafic interne ;
- trafic extérieur lié au port ;
- trafic externe non généré par le port.

Au début, pour le trafic routier et ferroviaire, une seule carte peut être produite qui comprend les trois composants, mais lorsque des problèmes critiques surviennent, la différenciation proposée doit être mise en œuvre permettant d'évaluer les responsabilités possibles du port.

Une description plus détaillée des groupes proposés est présentée dans les sous-chapitres suivants.

4.2.1 Sources routières

Comme indiqué ci-dessus, le flux de trafic est divisé en trois composantes. Le trafic interne pourrait être estimé en surveillant le flux aux portes, mais le trafic externe lié au port pourrait être plus difficile à évaluer correctement. Une campagne de surveillance du trafic est donc fortement recommandée, mais si elle n'est pas réalisable pour des raisons économiques ou pratiques, des estimations sur la répartition du trafic induit sur le réseau routier pourraient être obtenues à partir des données de trafic aux portes à l'aide d'un modèle de trafic. Dans tous les cas, le point de départ pourrait être une carte qui inclut la contribution de toutes les sous-classes, tandis que dans un

second temps, seulement après l'émergence possible de criticités acoustiques, des cartes spécifiques pourraient être produites. La figure 4 montre des exemples de trafic routier dans les zones portuaires, mettant en évidence leur complexité.

4.2.2 Sources ferroviaires

Une approche similaire à celle utilisée pour les sources routières est recommandée pour les chemins de fer. La principale différence est que les trains peuvent avoir une différenciation plus précise entre le trafic lié au port et non lié au port. Par exemple, si un port n'a pas de gare ferroviaire de passagers à l'intérieur de ses frontières, tout le trafic de passagers pourrait être considéré comme non lié au port. De plus, le réseau ferroviaire est probablement plus simple que le réseau routier. Une littérature abondante est disponible sur la cartographie des sources ferroviaires et les méthodes à suivre pour cartographier le trafic ferroviaire lié au port sont les mêmes que celles utilisées pour cartographier les artères ferroviaires normales. Cependant, certaines différences par rapport aux cas standard peuvent apparaître en raison du pourcentage élevé de trains de marchandises dans les ports industriels, comme représenté dans les exemples de la Figure 5.

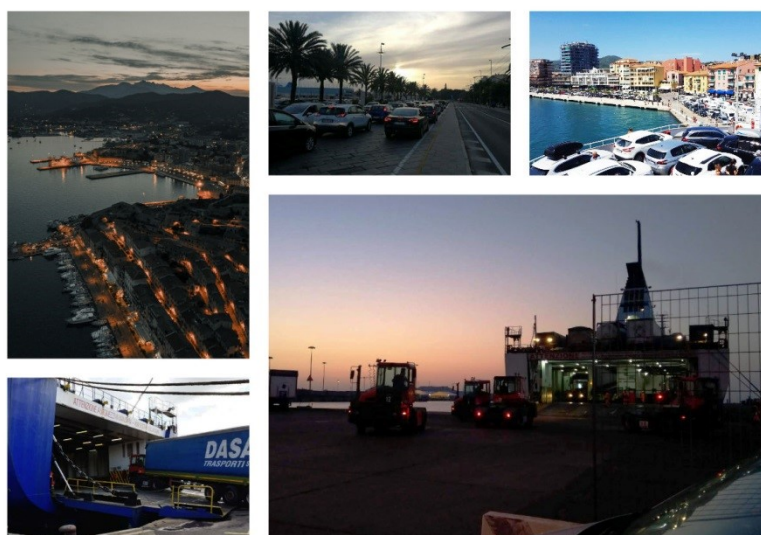


Figure 7: Exemples de la complexité du trafic routier dans les zones portuaires.



Figura 8. Esempi di complessità del traffico ferroviario, tra cui le operazioni di carico/scarico di treni merci.

4.2.3 Sources navales

Cette catégorie comprend toutes les activités liées au mouvement et au stationnement des navires. Dans le protocole formalisé du projet MON ACUMEN, il est donc demandé de fournir les puissances sonores des sources navales dans les deux phases opérationnelles différentes pour les catégories de navires suivantes :

- les traversiers ;
- roll-on / roll-off;
- les porte-conteneurs ;
- Croisières;
- chimiquiers ;
- les pétroliers ;
- bateaux-pilotes ;
- remorqueurs.

La raison de ce choix est simplement due aux différences techniques entre les différentes classes de bateaux considérées. De plus, les différents matériaux transportés entraîneront des différences entre les procédures de chargement et de déchargement et, par conséquent, entre les différentes émissions sonores. Par exemple, les croisières affectent principalement le trafic de passagers, ce qui entraînera des niveaux plus élevés de trafic routier terrestre induit en raison des passagers approchant de la zone portuaire, mais générera de faibles niveaux de bruit lors de l'embarquement et du ravitaillement. En revanche, les phases de chargement et de déchargement du RoRo se caractérisent par de grands flux de remorques et de voitures directement sur les navires, tandis que les ferries se trouvent entre les deux avec un mélange de passagers et de camions montant et descendant des navires. Les porte-conteneurs sont complètement différents car le chargement/déchargement ne concerne que les conteneurs, il y a donc fréquemment des bruits d'impact des conteneurs, des bruits de signalisation de grues et de véhicules, et des bruits de véhicules en transit. Cependant, toutes les opérations de chargement et de déchargement sont incluses dans les catégories de sources portuaires. Différents types de navires et opérations sont illustrés à la Figure 6 à titre d'exemple.



Figure 9: Exemples de types de navires, y compris les porte-conteneurs (en haut à gauche), les ferries (en haut au centre), les bateaux-pilotes (en bas à droite) et une vue sur les canaux internes de la ville de Livourne (en haut à droite).

Les émissions sonores des navires sont principalement dues aux moteurs, à la cheminée et aux sorties de ventilation, ainsi qu'aux phases de manutention. La catégorisation est principalement basée sur le type de navire. De plus, le tonnage est lié aux remorqueurs utilisés pour manœuvrer le navire ; Les porte-conteneurs sont généralement plus gros que les ferries et les rouliers, ils doivent donc généralement être manœuvrés à l'aide d'un ou plusieurs remorqueurs, tandis que les navires plus petits peuvent être amarrés sans l'aide de remorqueurs. Ignorer la présence des remorqueurs peut conduire à une sous-estimation des émissions totales du groupe source naval. Pour ces raisons, une caractérisation de l'émission sonore au cours des différentes phases d'exploitation est nécessaire pour tous les types de navires.

Afin de réduire la complexité du modèle, seules les classes de navires qui contribuent de manière significative au bruit, c'est-à-dire les plus bruyantes ou les plus fréquentes, doivent être considérées dans ce modèle. Cela inclurait tous les navires commerciaux et à passagers tels que les RoRos, les croisières, les porte-conteneurs, les pétroliers, etc. Les navires plus petits, tels que les bateaux de plaisance, les navires chargés de l'application de la loi et les navires de pêche, ne devraient être envisagés que s'ils le demandent explicitement ou lorsqu'une perturbation particulière survient localement. En effet, alors que leur faible nombre ne représente actuellement pas un problème pour des villes comme Livourne [30], le système de transport fluvial pourrait représenter un problème pour les villes côtières ou fluviales, comme Hambourg, Bordeaux, Amsterdam et Venise sous forme de bateaux-taxis, des bateaux-bus ou des bateaux privés qui causent des nuisances sonores. Dans ces villes, le transport fluvial peut être considéré comme une catégorie à part pour une juste attribution des responsabilités en cas de dépassement du bruit.

Compte tenu de la population navale des ports étudiés, les petits bateaux sont donc exclus pour éviter de disperser les efforts dans des aspects secondaires qui contribueraient marginalement aux émissions sonores totales [43]. Par exemple, envisager des bateaux de plaisance nécessiterait des mesures de bruit à long terme qui ne sont pas compatibles avec les exigences du projet et, de plus, leur émission sonore est susceptible d'être négligeable par rapport aux navires commerciaux et à passagers car ils sont plus nombreux et plus bruyants.

Le bruit produit par les sources mobiles et/ou fixes doit être convenablement réparti selon son type. Afin de mettre en œuvre correctement un seul navire, il est nécessaire d'insérer de nombreuses sources de bruit au sein de la maquette numérique du port.

Cependant, l'émission sonore peut varier considérablement en fonction de l'élévation de la cheminée, du positionnement des événements des systèmes de ventilation, et évidemment, elle peut varier selon le type de bateau.

4.2.4 Sources portuaires

Cette catégorie comprend toutes les sources directement utilisées dans les activités portuaires, telles que :

- chargement et déchargement des trains de marchandises ;
- chargement et déchargement des navires ;
- les opérations d'entretien des bateaux.

Des exemples de ces activités sont le chargement/déchargement de conteneurs à partir de porte-conteneurs, le ravitaillement en carburant, le chargement et le déchargement de véhicules à partir de navires RoRo et le chargement/déchargement de conteneurs sur des trains de marchandises.

Des exemples de sources de port sont illustrés à la Figure 7.

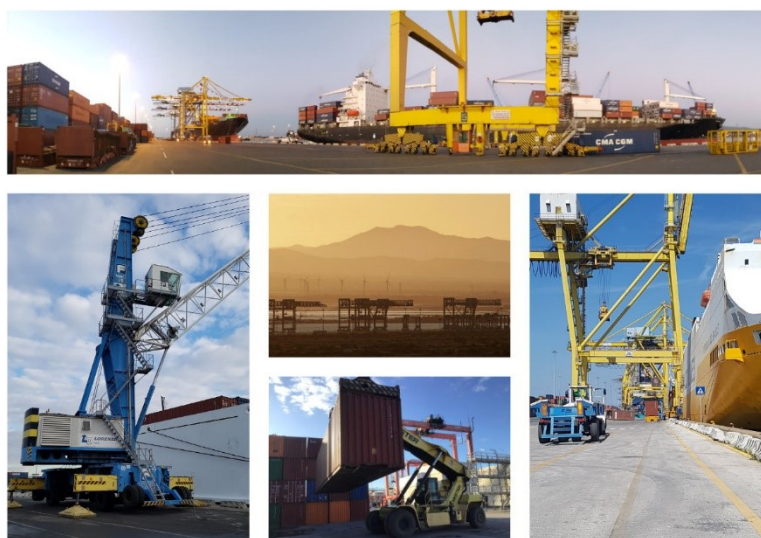


Figure 10: Exemples de sources portuaires. Ci-dessus, une vue grand angle d'un quai du port de Livourne où l'on peut voir de nombreux conteneurs, un porte-conteneurs et plusieurs grues ; au centre une vue d'un quai à conteneurs. Ci-dessous, trois images du port de Livourne, de droite à gauche : un portique à proximité d'un porte-conteneurs, un reach stacker en train de transporter un conteneur et enfin une grue mobile.

Une subdivision supplémentaire est nécessaire pour décrire correctement les sources appartenant à une si grande classe du point de vue acoustique. Un critère pourrait être de répartir tout d'abord entre les sources mobiles et fixes. Alors que les sources fixes sont principalement des grues, bien que de types différents, les sources de bruit mobiles travaillant dans les zones portuaires comprennent une grande variété de véhicules ou de machines. Les plus importants sont les chariots cavaliers, les élévateurs frontaux, les empileurs, les chariots élévateurs, les transtainers, les grues mobiles, les tracteurs de quai et autres unités de manutention de fret.

De plus, les sources incluses dans cette catégorie exercent des activités différentes qui correspondent à des émissions sonores différentes. Par conséquent, une définition unique n'est pas suffisante pour ces sources, qui peuvent être caractérisées par différentes phases de fonctionnement qui peuvent être regroupées en trois catégories, chacune ayant des caractéristiques d'émission sonore différentes :

- transit;
- manutention;

- opérations de chargement/déchargement.

Pour chaque catégorie et phase, une campagne de mesures adéquate est requise visant à une caractérisation acoustique appropriée.

4.2.5 Sources industrielles

Cette catégorie contient toutes les autres sources industrielles non incluses dans les catégories précédentes. Cependant, la collecte de toutes les informations dans les moindres détails peut être très complexe et coûteuse. En effet, à proximité de la zone portuaire, il existe de nombreux sites ou activités industrielles occupés par tous types d'activités productives. En première approximation, il est recommandé de porter une attention particulière aux sources externes telles que les véhicules et machines industriels utilisés dans les activités industrielles, et aux activités de chargement et de déchargement liées aux industries. Les sources à l'intérieur des bâtiments ne peuvent être incluses que si une enquête plus approfondie est nécessaire, car leur impact sur le récepteur ne devrait pas être significatif dans un environnement portuaire.

5 Discussion des résultats et conclusions

L'évaluation du bruit portuaire est devenue de plus en plus nécessaire en raison de l'augmentation du trafic maritime de passagers et de marchandises. De plus, l'absence de politiques de contrôle et de réglementations spécifiques a permis, au fil des années, la croissance de structures bruyantes autour des ports, telles que les centrales électriques, les centres logistiques et les industries. La première partie de ce travail a porté sur l'analyse de la littérature, combinée à l'expérience acquise par les auteurs dans le programme INTERREG Maritime Italie-France 2014-2020. Les résultats ont mis en évidence comment l'augmentation des activités et/ou l'expansion territoriale de certains ports a conduit à des zones urbaines trop proches des environnements bruyants. À ce jour, seules quelques plaintes ont été déposées par des citoyens vivant à proximité des ports, mais si une attention appropriée n'est pas accordée immédiatement au bruit dans les ports, les plaintes devraient augmenter dans un proche avenir.

Le programme INTERREG-Maritime vise à approfondir les connaissances sur le bruit portuaire à travers une série de projets spécifiques. Parmi tous, RUMBLE vise à créer des infrastructures pour la réduction du bruit dans les grands ports, MON ACUMEN vise à développer un système de surveillance commun dans les ports de la mer Tyrrhénienne du Nord, et REPORT vise à développer des modèles de simulation, une évaluation du bruit et des stratégies de contrôle du bruit. La phase de cartographie du bruit est la première étape fondamentale pour évaluer l'exposition des citoyens au bruit et la nécessité de son atténuation. MON ACUMEN a également pour objectif la production de cartes de bruit de tous les ports impliqués dans le projet.

Dans l'analyse des problèmes acoustiques causés par les ports dans le milieu environnant, le présent travail s'est attaché à montrer le manque d'études concernant la cartographie du bruit de la zone portuaire au sein de la littérature scientifique actuelle. Très peu d'études ont été consacrées au bruit portuaire, principalement parce qu'il est difficile et exigeant du point de vue de la caractérisation des sources et des campagnes de mesures. En effet, ces travaux ont montré qu'il existe des problèmes d'ordre technique, en plus de l'absence de réglementation spécifique et de la proximité des zones habitées. L'identification même des limites de la zone portuaire est problématique, étant donné que de multiples activités sont liées aux quais et aux zones de chargement/déchargement. Des exemples sont les pôles intermodaux et toutes ces infrastructures de transport reliées au port, mais qui, pour des raisons liées à l'orographie, peuvent également être situées à des distances considérables de la côte.

Le principal problème réside dans la taille des ports et dans le grand nombre et la variété des sources sonores qu'ils hébergent. Les sources possibles de bruit que l'on peut trouver dans un port vont des navires en transit, aux navires à l'arrêt, aux générateurs, aux manœuvres, aux grues, aux machines et aux systèmes de ventilation, mais aussi aux véhicules et trains en mouvement. . Certaines de ces sources ont fait l'objet d'études spécifiques, mais beaucoup d'autres ont été négligées et leurs mécanismes particuliers de génération sonore nécessitent une attention particulière. De plus, il est souvent difficile d'effectuer le recensement des machines industrielles bruyantes, étant donné que sur le territoire géré par les autorités portuaires, il peut y avoir des entreprises avec des politiques internes divergentes en matière de pollution de l'environnement. De plus, les trafics routier et ferroviaire liés à la zone portuaire se mélangent au trafic local, une attention particulière est donc requise dans la séparation des contributions.

Après ces observations, on voit maintenant à quel point les méthodes précédentes présentées dans la littérature sont insuffisantes, qui définissaient un modèle de bruit portuaire basé sur seulement deux catégories de sources : industrielles et de trafic.

Dans le présent travail, après avoir résumé les informations de base requises pour le modèle 3D, la classification des sources de bruit a été étendue à cinq macro-catégories, chacune de nature ou d'utilisation différente : sources routières, ferroviaires, navales, portuaires et industrielles. Chacun d'eux peut faire l'objet de subdivisions supplémentaires en fonction du mode de fonctionnement ou de placement. Le trafic routier et ferroviaire est divisé en interne, externe lié au port et externe non généré par le trafic portuaire. Le bruit des navires est divisé en phases de mouvement et d'amarrage pour toutes les différentes catégories de navires. Parmi ceux-ci, les plus impactants dans les ports d'intérêt pour le projet sont les ferries, les RoRo, les porte-conteneurs, les croisières, les chimiquiers, les pétroliers, les bateaux-pilotes et les remorqueurs. Les catégories portuaires et industrielles comprennent la plupart des sources et, en général, peuvent contenir les mêmes sources. Par exemple, les chariots cavaliers, les élévateurs frontaux, les empileurs, les chariots élévateurs, les transtainers, les grues mobiles, les tracteurs de quai et d'autres unités de manutention de fret peuvent être utilisés à des fins industrielles ainsi que pour les activités portuaires. Cependant, les sources portuaires comprennent toutes celles agissant lors du chargement et du déchargement des trains de marchandises et des navires ou lors des opérations de service des navires. D'autres subdivisions classent les sources en fixes ou mobiles et selon leurs phases opérationnelles, par exemple les opérations de transit, de manutention ou de chargement/déchargement.

Une classification plus détaillée que la classification traditionnelle aiderait les autorités compétentes à identifier correctement les responsabilités en matière d'émission sonore et d'exposition au bruit des citoyens, un objectif qui n'est pas évident dans un environnement aussi complexe.

De plus, la classification des sources proposée suggère une approche analytique pour identifier la position la plus appropriée pour les positions des systèmes de surveillance qui seront mis en œuvre dans le projet MON ACUMEN. En effet, un aspect critique qui a émergé de cette étude est la difficulté à définir les positions d'un hypothétique système de surveillance du bruit visant à identifier la source à l'origine des plaintes des citoyens et à relier les activités portuaires au bruit. S'il est correctement mis en œuvre, un système de surveillance dans la zone portuaire pourrait contribuer à la définition des relations entre les paramètres non acoustiques, tels que le tonnage de marchandises en vrac échangé ou le nombre total de passagers, avec l'émission sonore moyenne annuelle de l'infrastructure. Cela pourrait permettre de créer des cartes de bruit avec une économie énorme en termes de ressources utilisées dans la caractérisation et la modélisation des sources.

Enfin, l'utilisation principale de cette classification est de favoriser la définition de procédures de mesure spécifiques pour la caractérisation acoustique des sources portuaires. En effet, si les routes et les voies ferrées sont des sources de bruit bien connues, les sources portuaires nécessitent toujours l'attention de la communauté scientifique. Vers l'objectif ultime de définir des lignes directrices pour la cartographie du bruit dans les environnements portuaires, une classification détaillée de la source, c'est-à-dire une meilleure définition des entrées du modèle, conduira à de meilleurs résultats et à une évaluation plus précise de l'exposition au bruit. Enfin, la mise en œuvre d'une stratégie commune permettra à tous les ports d'être alignés sur le même standard et les cartes de bruit produites seront comparables. La caractérisation de l'émission sonore de toutes les sources au cours de leurs différentes phases d'exploitation est en cours et des travaux futurs traiteront de ce sujet spécifique.

Bibliographie

51. Review of Maritime Transport, UNCTAD/RMT/2018. Available online: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf (accessed on 22 December 2020).
52. Rossi, E.; Licitra, G.; Iacoponi, A.; Taburni, D. Assessing the underwater ship noise levels in the North Tyrrhenian Sea. In *The Effects of Noise on Aquatic Life II*; Springer: New York, NY, USA, 2016; pp. 943–949.
53. Merchant, N.D.; Pirotta, E.; Barton, T.R.; Thompson, P.M. Monitoring ship noise to assess the impact of coastal developments on marine mammals. *Mar. Pollut. Bull.* 2014, 78, 85–95, doi:10.1016/j.marpolbul.2013.10.058.
54. Erbe, C.; Marley, S. A.; Schoeman, R. P.; Smith, J. N.; Trigg, L. E.; Embling, C. B. The effects of ship noise on marine mammals—a review. *Frontiers in Marine Science* 2019, 6, 606, doi:10.3389/fmars.2019.00606.
55. Fredianelli, L.; Nastasi, M.; Bernardini, M.; Fidecaro, F.; Licitra, G. Pass-by characterization of noise emitted by different categories of seagoing ships in ports. *Sustainability* 2020, 12, 1740, doi:10.3390/su12051740.
56. Basner, M.; Babisch, W.; Davis, A.; Brink, M.; Clark, C.; Janssen, S.; Stansfeld, S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *Lancet* 2014, 383, 1325–1332, doi:10.1016/S0140-6736(13)61613-X.
57. Shield, B.M.; Dockrell, J.E. The effects of noise on children at school: A review. *Build. Acoust.* 2003, 10, 97–116, doi:10.1260/135101003768965960.
58. Stansfeld, S.A.; Matheson, M.P. Noise pollution: Non-auditory effects on health. *Br. Med. Bull.* 2003, 68, 243–257, doi:10.1093/bmb/ldg033.
59. Kawada, T. Noise and health—Sleep disturbance in adults. *J. Occup. Health.* 2011, 53, 413–416, doi:10.1539/joh.11-0071-RA.
60. Guski, R.; Schreckenberger, D.; Schuemer, R. WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review on environmental noise and annoyance. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14, 1539, doi:10.3390/ijerph14121539.
61. Del Pizzo, A.; Teti, L.; Moro, A.; Bianco, F.; Fredianelli, L.; Licitra, G. Influence of texture on tyre road noise spectra in rubberized pavements. *Appl. Acoust.* 2020, 159, 107080, doi:10.1016/j.apacoust.2019.107080.
62. Pieren, R.; Heutschi, K.; Wunderli, J.M.; Snellen, M.; Simons, D.G. Auralization of railway noise: Emission synthesis of rolling and impact noise. *Appl. Acoust.* 2017, 127, 34–45, doi:10.1016/j.apacoust.2017.05.026.
63. Tian, Y.; Wan, L.; Ye, B.; Yin, R.; Xing, D. Optimization Method for Reducing the Air Pollutant Emission and Aviation Noise of Arrival in Terminal Area. *Sustainability* 2019, 11, 4715, doi:10.3390/su11174715.
64. Licitra, G.; Fredianelli, L.; Petri, D.; Vigotti, M.A. Annoyance evaluation due to overall railway noise and vibration in Pisa urban areas. *Sci. Total Environ.* 2016, 568, 1315–1325, doi:10.1016/j.scitotenv.2015.11.071.

65. Wei, W.; Van Renterghem, T.; De Coensel, B.; Botteldooren, D. Dynamic noise mapping: A map-based interpolation between noise measurements with high temporal resolution. *Appl. Acoust.* **2016**, *101*, 127–140, doi:10.1016/j.apacoust.2017.05.026.
66. Kleizienė, R.; Šernas, O.; Vaitkus, A.; Simanavičienė, R. Asphalt Pavement Acoustic Performance Model. *Sustainability* **2019**, *11*, 2938, doi:10.3390/su11102938.
67. Teti, L.; et al. Modelling the acoustic performance of newly laid low-noise pavements. *Constr. Build. Mater.* **2020**, *247*, 118509, doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.118509.
68. Wong, M.; Wang, T.; Ho, H.; Kwok, C.; Lu, K.; Abbas, S. Towards a smart city: Development and application of an improved integrated environmental monitoring system. *Sustainability* **2018**, *10*, 623, doi:10.3390/su10030623.
69. Zambon, G.; Benocci, R.; Bisceglie, A.; Roman, H.E.; Bellucci, P. The LIFE DYNAMAP project: Towards a procedure for dynamic noise mapping in urban areas. *Appl. Acoust.* **2017**, *124*, 52–60, doi:10.1016/j.apacoust.2016.10.022.
70. Gori, P.; Guattari, C.; Asdrubali, F.; de Lieto Vollaro, R.; Monti, A.; Ramaccia, D.; Toscano, A. Sustainable acoustic metasurfaces for sound control. *Sustainability* **2016**, *8*, 107, doi:10.3390/su8020107.
71. Danihelová, A.; Němec, M.; Gergel, T.; Gejdoš, M.; Gordanová, J.; Ščensný, P. Usage of Recycled Technical Textiles as Thermal Insulation and an Acoustic Absorber. *Sustainability* **2019**, *11*, 2968, doi:10.3390/su11102968.
72. Fredianelli, L.; Del Pizzo, A.; Licitra, G. Recent developments in sonic crystals as barriers for road traffic noise mitigation. *Environments* **2019**, *6*, 14, doi:10.3390/environments6020014.
73. Directive, E.U. Directive 2002/49/EC of the European parliament and the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. *Off. J. Eur. Communities L* **2002**, *189*, 2002.
74. Paschalidou, A.K.; Kassomenos, P.; Chonianaki, F. Strategic Noise Maps and Action Plans for the reduction of population exposure in a Mediterranean port city. *Sci. Total Environ.* **2019**, *654*, 144–153, doi:10.1016/j.scitotenv.2018.11.048.
75. Murphy, E.; King, E.A. An assessment of residential exposure to environmental noise at a shipping port. *Environ. Int.* **2014**, *63*, 207–215, doi:10.1016/j.envint.2013.11.001.
76. 16 Neptunes Project. Available online: <https://www.neptunes.pro/> (accessed on 22 December 2020).
77. Di Bella, A.; Tombolato, A.; Cordeddu, S.; Zanutto, E.; Barbieri, M. In situ characterization and noise mapping of ships moored in the Port of Venice. *J. Acoust. Soc. Am.* **2008**, *123*, 3262, doi:10.1121/1.2933567.
78. Santander, A.; Aspuru, I.; Fernandez, P. OPS Master Plan for Spanish Ports Project. Study of potential acoustic benefits of on-Shore power supply at berth. In *Proceedings of the Euronoise 2018*, Heraklion-Crete, Greece, 27–31 May 2018.
79. Badino, A.; Borelli, D.; Gaggero, T.; Rizzuto, E.; Schenone, C. Acoustical impact of the ship source. In *Proceedings of the 21st International Congress on Sound and Vibration*, Beijing, China, 13–17 July 2014; pp. 13–17.

80. Bernardini, M.; Fredianelli, L.; Fidecaro, F.; Gagliardi, P.; Nastasi, M.; Licitra, G. Noise assessment of small vessels for action planning in canal cities. *Environments* 2019, 6, 31, doi:10.3390/environments6030031.
81. Nastasi, M.; Fredianelli, L.; Bernardini, M.; Teti, L.; Fidecaro, F.; Licitra, G. Parameters Affecting Noise Emitted by Ships Moving in Port Areas. *Sustainability* 2020, 12, 8742, doi:10.3390/su12208742.
82. INTERREG Marittimo-IT FR-Maritime. Available online: <http://interreg-maritime.eu/> (accessed on 22 December 2020).
83. Schenone, C.; Pittaluga, I.; Borelli, D.; Kamali, W.; El Moghrabi, Y. The impact of environmental noise generated from ports: Outcome of MESP project. *Noise Mapp.* 2016, 1, doi:10.1515/noise-2016-0002.
84. Hanaoka, S.; Regmi, M.B. Promoting intermodal freight transport through the development of dry ports in Asia: An environmental perspective. *Iatss Res.* 2011, 35, 16–23, doi:10.1016/j.iatssr.2011.06.001.
85. Alsina-Pagès, R.M.; Socoró, J.C.; Barqué, S. Survey of Environmental Noise in the Port of Barcelona. In *Proceedings of the Euronoise—European Conference on Noise Control*, Crete, Greece, 27–31 May 2018.
86. Alsina-Pagès, R.M.; Socor, J.C.; Bergadà, P. The impact of man-made noise on the passenger transport stations of Port of Barcelona. In *Proceedings of the INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference*; Institute of Noise Control Engineering: Reston, VA, USA, 2019; Volume 259, pp. 6912–6922.
87. Badino, A.; Borelli, D.; Gaggero, T.; Rizzuto, E.; Schenone, C. Acoustic impact of ships: Noise-related needs, quantification and justification. In *The Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources*. In *Proceedings of the 14th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean*, IMAM, Genoa, Italy, 13–16 September 2011; CRC Press: Boca Raton, FL, USA; BalNema: 2011; 2, pp. 961–969.
88. Murphy, E.; King, E.A. Residential exposure to port noise: A case study of Dublin, Ireland. In *Proceeding of the 41st International Congress on Noise Control Engineering*, New York: Institute of Noise Control Engineering (INCE-USA), NY, USA, 19–22 August 2012.
89. Kim, R.; Van den Berg, M. Summary of night noise guidelines for Europe. *Noise Health* 2010, 12, 61, doi:10.4103/1463-1741.63204.
90. EcoPorts 2011. EcoPorts Project, Information Exchange and Impact Assessment for Enhanced Environmental-Conscious Operations in European Ports and Terminals, FP5. Available online: http://cordis.europa.eu/project/rcn/87079_en.html (accessed on 22 December 2020).
91. Witte, J. Noise from moored ships. In *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*; Institute of Noise Control Engineering: Reston, VA, USA, 2010; pp. 3202–3211.
92. Di Bella, A.; Remigi, F. Prediction of noise of moored ships. In *Proceedings of the Meetings on Acoustics ICA2013*, Montréal, QC, Canada, 1–7 June 2013; Volume 19, p. 010053.
93. Badino, A.; Borelli, D.; Gaggero, T.; Rizzuto, E.; Schenone, C. Noise emitted from ships: Impact inside and outside the vessels. *Procedia-Soc. Behav. Sci.* 2012, 48, 868–879, doi:10.1016/j.sbspro.2012.06.1064.

94. Di Bella, A.; Remigi, F.; Fausti, P.; Tombolato, A. Measurement methods for the assessment of noise impact of large vessels. In Proceedings of the 23rd International Congress on Sound & Vibration, Athens, Greece, 10–14 July 2016.
95. Fausti, P.; Santoni, A.; Martello, N.Z.; Guerra, M.C.; Di Bella, A. Evaluation of airborne noise due to navigation and manoeuvring of large vessels. In Proceedings of the 24th International Congress on Sound and Vibration, London, UK, 23–27 July 2017.
96. Bakogiannis, K.; Argyropoulos, D.; Dagres, P.; Fotiou, N.; Cambourakis, G. Residential exposure to port noise, mapping and sources identifications: A case study of Pireaus, Greece. In Proceedings of the 22nd International Congress on Sound and Vibration, Florence, Italy, 12–16 July 2015.
97. Bolognese, M.; Fidecaro, F.; Palazzuoli, D.; Licitra, G. Port noise and complaints in the north tyrrhenian sea and framework for remediation. *Environments* 2020, 7, 17, doi:10.3390/environments7020017.
98. Olszewski, G.C. Development and policy analysis of an effective noise management strategy for port metro Vancouver. In Proceedings of the Inter-Noise 2015, San Francisco, CA, USA, 9–12 August 2015.
99. Bjomstad, J.M. The Port Authority of New York and New Jersey noise management program. In Proceedings of the Inter-Noise 2015, San Francisco, CA, USA, 9–12 August 2015.
100. Puig, M.; Wooldridge, C.; Casal, J.; Darbra, R.M. Environmental reporting and communication—“Show me the evidence!”. In Proceedings of the GreenPort Congress, Antwerp, Belgium, 9–11 October 2013.



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA**



La cooperazione al cuore del Mediterraneo La coopération au coeur de la méditerranée