

## PROGETTO REPORT

### “Rumore e Porti”

CUP E48B17001310007

### Output T3.1

# Studi congiunti di verifica dei modelli di simulazione e scenari previsionali

## Componente T3

**Data di consegna prevista:**

**Data di consegna effettiva: 10/2021**

**Organizzazione responsabile: Università di Pisa**

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

<b>Numero della documentazione da consegnare:</b>	<b>T3.1</b>
<b>Responsabile della documentazione da consegnare:</b>	<b>Università di Pisa</b>
<b>Componente:</b>	T3 - Verifica e validazione dei modelli e degli scenari sviluppati

Autore/i - in ordine alfabetico		
Nome	Organizzazione	E-mail
Francesco Fidecaro	UNIFI	francesco.fidecaro@unipi.it

Revisione del Documento			
Versione	Data	Modifiche	
		Tipo di modifiche	Modificato da

Sintesi
L'output T3.1 valida l'output T2.1 operando degli studi congiunti di verifica di ciascun modello di simulazione confermandone l'efficacia al fine di raggiungere in maniera corretta l'obiettivo specifico relativo alla creazione di modelli di simulazioni multidisciplinari per la valutazione del rumore in ambito portuale.

## Sommario

1	Introduzione .....	4
2	Prodotto T3.1.1 .....	5
3	Prodotto T3.2.1 .....	9
4	Prodotto T3.3.1 .....	13
5	Attività T3.4 .....	14
5.1	Prodotto T3.4.1 .....	14
5.2	Prodotto T3.4.2 .....	14
6	Conclusioni.....	15

## 1 Introduzione

La Componente T3 del progetto REPORT realizza gli studi di validazione dei modelli sviluppati nel corso della Componente T2 e ne valuta la possibile implementazione all'interno della END. I modelli oggetto della validazione sono relativi ai seguenti Attività della Componente T2:

- Attività T2.1: Sviluppo di un modello di simulazione del rumore;
- Attività T2.2: Analisi delle emissioni sonore al variare delle condizioni di traffico attraverso interventi di gestione e regolazione;
- Attività T2.3 Analisi emissioni sonore attività portuali di movimentazione delle merci e delle persone nell'ipotesi di nuovi vettori energetici di propulsione.

L'Attività T2.1 condotta dal partner CSTB ha permesso lo sviluppo di una serie di strumenti per la modellizzazione delle sorgenti di rumore in ambito portuale, in particolare navi commerciali e portacontainer.

L'Attività T2.2 ha visto il partner UNICA impegnato nello sviluppo di una rete neurale capace di stimare livelli di rumore generati dalla rete stradale in tempo reale sulla base dei dati di traffico.

Il dipartimento di Ingegneria del partner UNIPI, nel corso dell'Attività T2.3 ha invece valutato la riduzione delle emissioni del rumore ottenibile mediante l'introduzione di mezzi a propulsione elettrica all'interno delle aree di carico scarico container all'interno dei grandi porti commerciali.

## 2 Prodotto T3.1.1

La validazione dello strumento sviluppato dal partner CSTB è avvenuta mediante la comparazione dei risultati ottenuti tramite tale strumento con i risultati ottenibili attraverso un software commerciale attualmente disponibile nella modellazione di uno scenario portuale. In particolare, la validazione ha sfruttato i risultati di campagne caratterizzazione acustica di tre navi nel porto di Cagliari per ricostruire altrettanti scenari in MithraSIG 5.4 e in SoundPLAN 8.1. In Figura 2.1 sono evidenziate le regioni del porto di Cagliari oggetto delle simulazioni. In seguito alla modellazione degli scenari è stato effettuato un confronto tra i risultati ottenuti dai due software in termini di livelli di rumore.

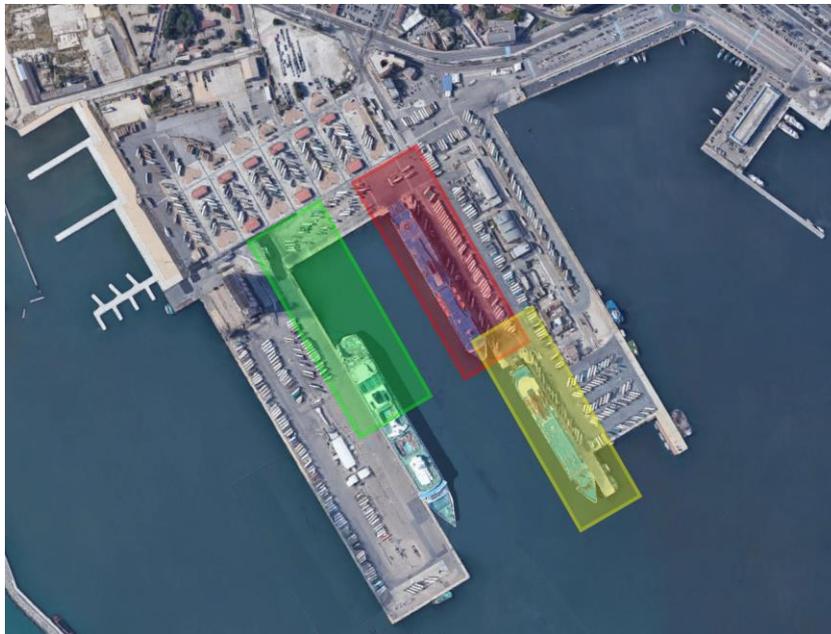


Figura 2.1: I moli del Porto di Cagliari corrispondenti agli scenari modellizzati: molo “Sabaudò” in rosso, molo “Dente Sabaudò” in giallo e molo “Levante Rinascita” in verde.

Per ricavare le potenze sonore e gli spettri delle sorgenti presenti nelle navi è stato utilizzato un apposito tool di SoundPLAN 8.1 che sfrutta le relazioni inverse del calcolo della propagazione. Per poter utilizzare tale strumento sono stati preliminarmente ricostruiti i tre scenari su SoundPLAN 8.1 indicando i livelli di rumore misurati, le postazioni di misura e le posizioni delle sorgenti della nave, tra cui un’area rappresentante le operazioni di carico scarico. Le potenze sonore e gli spettri ottenuti dallo strumento sono stati quindi attribuiti alle rispettive sorgenti. Sottolineiamo come in questa fase lo scafo delle navi è stato inserito manualmente attraverso lo strumento di modellazione degli edifici. In Figura 2.2 è riportato a titolo di esempio il modello del Molo Sabaudò all’interno di SoundPLAN.

Dunque, definite le caratteristiche delle sorgenti, si è potuto procedere alla modellazione all’interno di MithraSIG (Figura 2.3) attraverso lo strumento Porto e gli strumenti specifici per l’ambito portuale messi a disposizione. Gli strumenti, come già descritto, permettono l’introduzione di un accurato modello 3D della nave sulla base di quote fornite dall’utente e l’inserimento delle diverse sorgenti sonore della nave secondo schemi predefiniti. In entrambi i software la modellazione delle fasi di carico/scarico è avvenuta tramite strumenti generici quali sorgenti areali e puntuali.



Figura 2.2: Le sorgenti del molo Sabauda all'interno del software SoundPLAN.

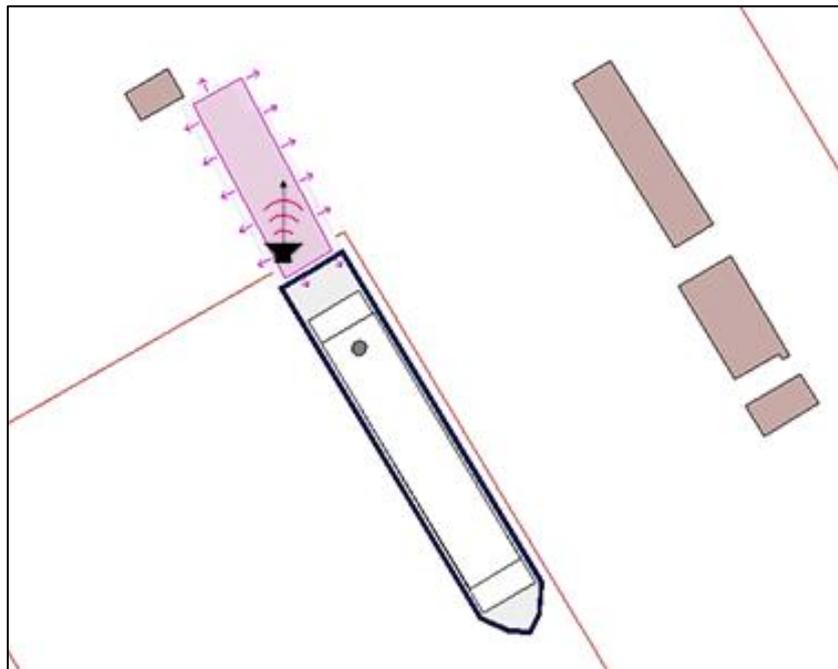


Figura 2.3: Le sorgenti del molo Sabauda all'interno del software MithraSIG.

Nonostante le varie differenze riscontrate tra i due software, una volta uniformate le modalità di inserimento dei dati, la differenza tra i risultati ai ricevitori è risultato inferiore a  $\pm 1$  dB(A) (Tabella 2.1).

Tabella 2.1 Confronto tra i valori ottenuti con SoundPLAN e MithraSIG.

Scenario	Ricevitore	SoundPLAN	MithraSIG	Delta
		L <sub>Aeq</sub> diurno [dB(A)]	L <sub>Aeq</sub> diurno [dB(A)]	L <sub>Aeq</sub> diurno [dB(A)]
Molo Sabaudo	P01 - Molo	88.2	87.6	0.6
	P02 - Fabbricatino (Bar)	88.3	87.4	0.9
Molo Dente Sabaudo	P01 -Molo	93.8	93.8	0.0
	P02 - Sabaudo ext (6° ormeggio)	78.8	78.7	0.1
Molo Levante Rinascita	P01 - Molo	95.3	95.0	0.3
	P02 - Fabbricatino	90.8	90.6	0.2
	P03 - Fabbricatino (bar)	73.6	73.6	0.0

Le difficoltà riscontrate nella realizzazione dello scenario sono riconducibili a due sole fattispecie.

Nel caso del rumore di ventilazione posto sui lati degli oggetti nave, utilizzando lo strumento Porto risultava difficile posizionare le sorgenti puntiformi nelle loro reali posizioni, tuttavia ciò non ha provocato una differenza nei risultati, probabilmente perché la loro potenza sonora (L<sub>w</sub>) era decisamente più bassa rispetto alle altre sorgenti attive, prima fra tutte quella dei fumaioli. Inoltre, a distanze elevate, piccole discrepanze nel posizionamento di alcune sorgenti di piccola potenza sonora risultano impercettibili in termini di livello sonoro.

Ulteriore causa di complicazioni è stato l'uso della sorgente volumetrica come semplice sorgente areale: ciò ha comportato una serie di tentativi per riuscire ad uniformare le due modalità di rappresentazione dell'attività portuale di carico/scarico in corrispondenza del molo di attracco.

Il risultato in termini di differenza tra i livelli è considerabile accettabile; pertanto, i risultati dei due software si possono considerare equivalenti.

Per affermare ciò, si deve tenere in considerazione che il calcolo effettuato con software di modellazione 3d comporta un'incertezza intrinseca dovuta ai possibili errori causati da quella che, a tutti gli effetti, è un'approssimazione della realtà, e a determinate caratteristiche di sorgente e ricevitore. Secondo la normativa tecnica attuale, considerando l'altezza delle sorgenti in gioco e le distanze sorgente/ricevitore l'errore intrinseco da associare alle simulazioni effettuate è proprio dell'ordine di  $\pm 1$  dB(A), pertanto possiamo concludere che la validazione risulta particolarmente soddisfacente.

In definitiva, il software sviluppato dal partner CSTB permette un rapido inserimento di una nave completa delle sue sorgenti sonore principali all'interno di un modello 3D di un'area portuale senza andare a discapito della qualità dei risultati. Ciò costituisce un notevole risparmio in termini di tempo e risorse che va aumentando all'aumentare del numero delle imbarcazioni coinvolte.

Al tempo della validazione non era possibile indicare la quantità di tempo in cui una singola nave fosse presente o meno in porto, ma solo la percentuale di tempo per cui le sue sorgenti fossero attive; pertanto, l'utilizzo dello strumento risultava limitato alla modellizzazione di scenari ben definiti che non prevedono l'avvicinarsi di numerose imbarcazioni. Ad esempio, questo ne precludeva l'utilizzo in studi di esposizione su periodi prolungati in cui la geometria dello scenario rende gli effetti di ombra geometrica generata dalle imbarcazioni non trascurabili. Ciò nonostante, in scenari in cui le

imbarcazioni, non interferiscono sensibilmente con la propagazione del rumore di altre sorgenti, lo strumento sviluppato garantisce comunque piena validità e consentiva un ingente risparmio in termini di tempo di modellizzazione, quindi di risorse economiche da investire. Tuttavia, con il rilascio di recenti aggiornamenti è stata implementata una funzione che dovrebbe permettere di tenere conto del tempo trascorso dalla nave nella banchina e quindi di effettuare studi su periodi prolungati considerando correttamente gli effetti di ombra geometrica causati dalla presenza o meno delle imbarcazioni. Tale funzionalità, se si confermerà valida, consentirà una modellizzazione di complesse aree portuali con tempi di gran lunga inferiori accuratezze superiori a quelle attuali.

### 3 Prodotto T3.2.1

Per confermare e valutare la consistenza e la ripetibilità dei risultati ottenuti dalla rete neurale sviluppata da UNICA, il progetto prevede un'attività di validazione specifica mediante apposite campagne di misura e simulazioni. Pertanto, ARPAT, di comune accordo con UNICA, ha definito un preciso piano di validazione. Il piano è riassumibile nelle seguenti fasi:

- esecuzione di una campagna di misura su uno scenario inedito alla rete (porto di Cagliari);
- addestramento della rete su una frazione dei dati del monitoraggio da parte di UNICA;
- generazione di stime dei livelli di rumore attraverso la rete neurale sulla base dei soli dati di traffico, da parte di UNICA;
- simulazione dello scenario su un software previsionale tradizionale (SoundPLAN) da parte di ARPAT;
- confronto delle stime fornite dalla rete neurale e di quelle fornite dal software previsionale tradizionale con i livelli misurati durante il monitoraggio;
- confronto del livello di incertezza della rete con quello fornito dal software tradizionale.

Il primo passo della validazione è stato compiuto eseguendo una apposita campagna di monitoraggio nella rete stradale che circonda il Porto Vecchio e in particolare le regioni del Bacino di Ponente e del bacino del Porto Interno. A differenza di quanto precisamente indicato da UNICA, in fase di realizzazione del monitoraggio, questo è stato effettuato separatamente per due distinte sezioni della rete. In Figura 3.1 è riportata un'immagine satellitare dell'area in cui sono evidenziate la rete stradale cittadina e le postazioni di misura.



Figura 3.1: Dettaglio della rete stradale oggetto del monitoraggio con indicazione della posizione delle centraline di monitoraggio acustico e dei conta-traffico. In verde i punti della parte "a" del monitoraggio, in blu i punti relativi alla parte "b" del monitoraggio.

I monitoraggi sono stati effettuati per una durata continuativa di almeno 52 ore ciascuno, registrando i livelli di rumore ambientale e i flussi di traffico completi di velocità suddivisi per categorie (veicoli leggeri, pesanti, motocicli ecc...).

Alla fase di raccolta dati è seguito l'addestramento della rete neurale sulla base dei dati ottenuti dal monitoraggio. ARPAT ha fornito a UNICA il 100% dei dati di traffico e il 90% dei dati di rumore in modo da consentire una validazione in cieco. Per via di un inconveniente tecnico incorso durante la fase di analisi preliminare dei dati effettuata da ARPAT, non è stato possibile allenare correttamente la rete con i dati del monitoraggio "b" entro la scadenza del progetto. Tuttavia, sia ARPAT che UNICA condividono la volontà di completare in un secondo momento la validazione, anche al fine di pubblicarne i risultati su riviste scientifiche.

UNICA ha quindi addestrato la rete e fornito stime per i livelli di rumore relativi alla porzione di monitoraggio per cui disponeva dei soli dati di traffico. Tale periodo corrisponde a quello intercorso tra l'inizio della 47° ora e la fine della 52°.

Contemporaneamente ARPAT ha realizzato il modello 3d dell'area di studio all'interno del software SoundPLAN, inserendo le strade oggetto del monitoraggio e i relativi flussi di traffico orari. Utilizzando una frazione dei dati disponibili si è effettuata una calibrazione del modello andando a modificare la tipologia di pavimentazione associata ai tratti stradali. I parametri così stabiliti sono stati quindi utilizzati per l'intero monitoraggio.

A questo punto bisogna sottolineare che per poter ottenere stime orarie dei livelli di traffico dal software previsionale tradizionale è stato necessario realizzare una variante del modello e quindi una simulazione specifica per ciascuna ora del monitoraggio. Pertanto, il tempo richiesto e la complessità del calcolo sono molto maggiori rispetto ai casi d'uso standard per cui è pensato il software.

Una volta disponibili le stime fornite dai due modelli è stato possibile confrontare i risultati di entrambi con i reali livelli di rumore. In Figura 3.2 sono riportati a titolo di esempio gli andamenti relativi al punto Pa3.

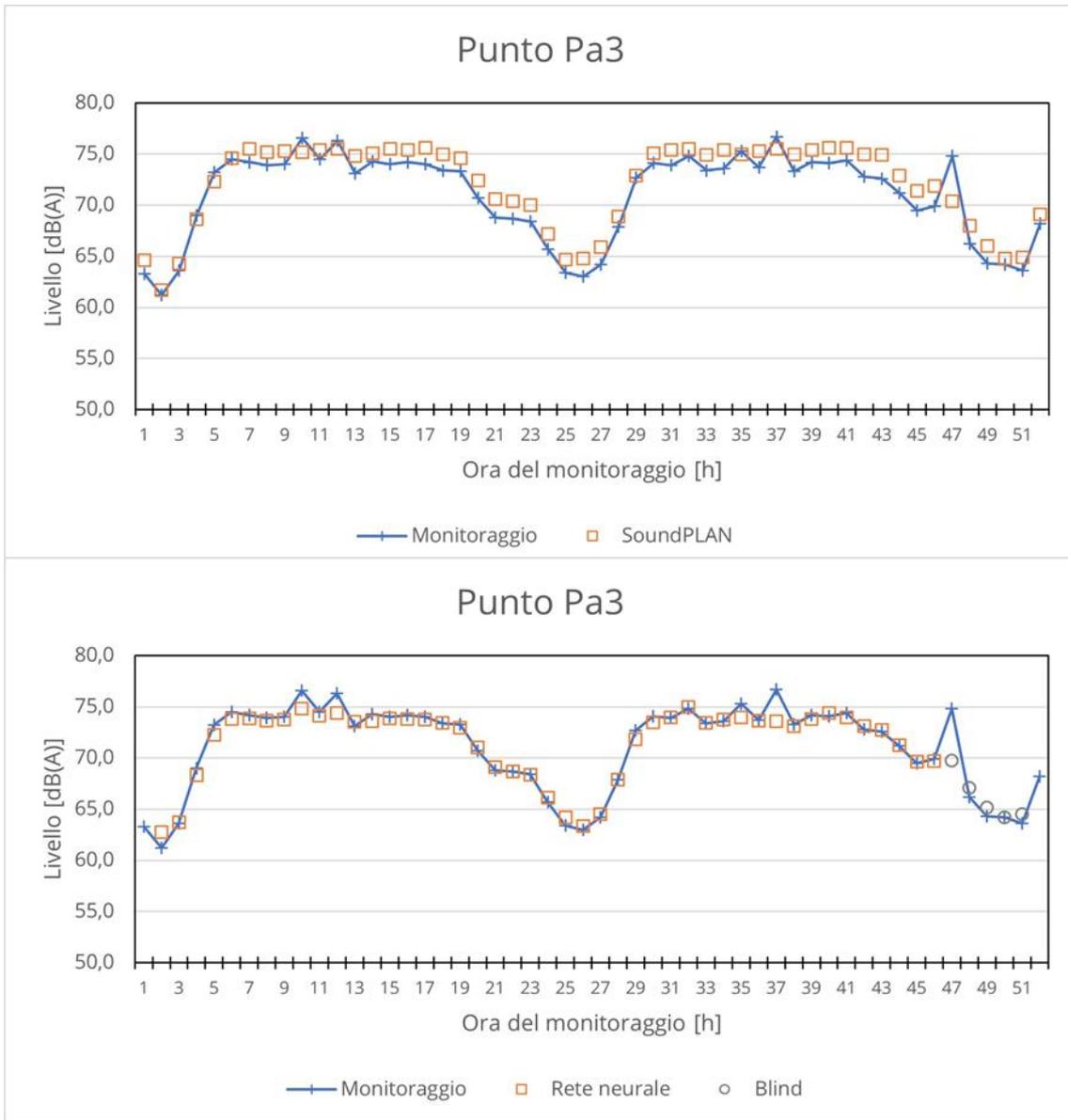


Figura 3.2: Confronto tra i risultati del monitoraggio nel punto Pa3 e le previsioni dei modelli. In alto: andamento nel tempo dei risultati forniti dalla rete neurale, in grigio le stime fornite senza conoscere i reali livelli di rumore. In basso: andamento temporale dei risultati forniti dal software SoundPLAN.

Come è possibile osservare dalla Figura 3.2, generalmente la rete neurale riesce a seguire con maggiore fedeltà l'andamento temporale del livello di rumore. Le differenze maggiori si verificano di norma in corrispondenza delle fasce orarie caratterizzate da livelli di rumore minori. Questi periodi di monitoraggio corrispondono alle ore notturne in cui, sulla base dei dati di traffico, si riscontra traffico poco intenso ma caratterizzato da una più alta percentuale di mezzi pesanti. In maniera del tutto casuale le ore del monitoraggio corrispondenti alla validazione in cieco corrispondono esattamente ad uno di questi periodi; pertanto, bisogna tenerne conto nel confronto tra i livelli stimati e quelli reali.

Le stime effettuate attraverso la metodica tradizionale invece, nonostante in media producano risultati molto buoni, risultano generalmente meno aderenti all'andamento temporale.

In Tabella 3.1 sono riportati i risultati per le due pavimentazioni testate sul software SoundPLAN e per la rete neurale.

Tabella 3.1 Risultati sintetici della validazione.

		Pa1			Pa2			Pa3		
		Media dB(A)	Dev. St.	Corr.	Media dB(A)	Dev. St.	Corr.	Media dB(A)	Dev. St.	Corr.
Pav. standard	Calibrazione	-1,5	1,7	0,94	-0,6	1,3	0,98	0,3	0,8	0,99
	Validazione	0,4	1,9	0,47	-0,1	1,1	0,96	0,4	1,6	0,57
	Cieco	-1,1	1,1	0,75	-1,3	0,8	0,94	0,2	0,3	0,98
	Totale	-0,8	1,9	0,91	-0,5	1,2	0,97	0,4	1,1	0,97
Pav. Alternativa	Calibrazione	-0,7	1,6	0,94	0,1	1,2	0,98	1	0,9	0,98
	Validazione	1,5	1,8	0,48	0,5	0,9	0,96	1	1,5	0,57
	Cieco	-0,2	1,2	0,74	-0,3	0,6	0,97	1,3	0,5	0,96
	Totale	0,2	1,9	0,9	0,2	1,1	0,98	1	1,1	0,96
Rete neurale	Allenamento	-0,3	0,8	0,98	0	0,5	0,99	-0,3	0,7	0,99
	Test	-0,1	0,9	0,97	0	0,5	1	-0,2	0,8	0,98
	Cieco	1,6	1,2	0,92	1,1	1,1	0,77	0,5	2,3	0,95
	Totale	0,4	1	0,97	0,1	0,7	0,99	0,3	1	0,97

Dal lavoro svolto emerge come, nonostante l'enorme mole di lavoro necessario, il software tradizionale non è adatto a fornire stime orarie o addirittura a intervalli minori, nonostante fornisca risultati di comprovata affidabilità su intervalli di tempo ben più lunghi. D'altra parte, il modello tradizionale consente la realizzazione di mappe di rumore in 2d in un'unica sessione di calcolo, mentre la rete fornisce stime sui solo recettori individuati e per i quali è stata addestrata.

La rete neurale sviluppata si è dimostrata in grado di fornire stime dei livelli di rumore con un errore comparabile a quello di un software certificato rispetto alle misure eseguite sul campo, ma con un ingente risparmio in termini di sforzo computazionale e di lavoro umano se l'interesse specifico è quello di verificare determinati ricettori. I due modelli nascono con scopi differenti, in particolare la rete neurale vuole rispondere all'esigenza di una gestione in tempo reale del traffico urbano, allo scopo di monitorare i livelli di rumore in punti critici a intervalli molto brevi, anche di 1 minuto. Il modello a rete neurale, pertanto, non è nato per sostituire il modello convenzionale, anzi, potrebbe essere impiegato a supporto di questo.



## **4 Prodotto T3.3.1**

## **5 Attività T3.4**

### **5.1 Prodotto T3.4.1**

Il Prodotto T3.4.1 descrive l'attività di mappatura del rumore portuale nell'area del porto di Livorno e i conseguenti in termini di mappe del rumore e mappe dell'esposizione della popolazione.

### **5.2 Prodotto T3.4.2**

Il Prodotto T3.4.2 descrive due importanti strumenti di mappatura in ambito portuale sviluppati all'interno del cluster rumore. In particolare, il modello di calcolo sviluppato dal partner CSTB e la mappa delle sorgenti predominanti ideata dal partner ARPAT all'interno del progetto MON ACUMEN.

## 6 Conclusioni

La componente T3 ha permesso di realizzare con successo la validazione dei modelli sviluppati nel corso della Componente T3 dai partner CSTB, UNICA e UNIPI. I modelli validati, costituiscono un importante passo avanti nello studio del rumore portuale e costituiscono nuovi strumenti di gestione delle mani degli enti gestori dei porti dell'area di cooperazione.

I risultati raggiunti, data la generalizzazione dell'approccio seguita durante lo sviluppo e la validazione, possono essere estesi ad altri porti, anche al di fuori dell'area di cooperazione.

La successiva attività di studio dell'implementazione degli strumenti all'interno delle END ha valutato l'utilità degli strumenti e delle metodologie sviluppate in REPORT e in altri progetti del cluster rumore ai fini della valutazione dell'esposizione al rumore della popolazione.