T3.4Valutazione conclusiva dell'efficacia delle infrastrutture

Output:		T3.4.1
Componenti:		T3
Partner Responsabile:		UNIGE
Data:		12/2021

I. Introduzione

Nell'ambito della componente T3 si è proceduto a valutare le opere di mitigazione realizzate all'interno della componente T2. Per quanto attiene la Corsica, Livorno e Cagliari, esse sono consistite nella stesura di asfalto fonoassorbente sui piazzali di sbarco e imbarco dei porti, mentre per quanto riguarda l'APSMLO si è svolto il monitoraggio sulla efficacia dal punto di vista acustico di una duna di ampie dimensioni, costruita presso il porto di Genova Prà e finalizzata alla diminuzione dell'impatto paesaggistico ed acustico sull'area urbana circostante. Tale opera è stata finanziata interamente con fondi propri ed è stata realizzata contestualmente allo sviluppo del progetto RUMBLE. MNCA ha infine condotto il monitoraggio del clima acustico nell'area metropolitana di Nizza, coinvolgendo anche l'Ente Gestore dei porti Camera di Commercio di Nice, al fine di individuare le soluzioni infrastrutturali più efficaci da adottare per la mitigazione dell'impatto acustico dei porti.

Nel presente documento si descrivono i risultati ottenuti dalle opere di mitigazione in termini di riduzione dell'impatto acustico dei porti mediante il confronto tra i risultati delle campagne di misura effettuate prima e dopo l'esecuzione degli interventi. Nel caso dei porti di Portoferraio (Autorità Portuale di Sistema del Mar Tirreno Settentrionale), Cagliari (Autorità Portuale di Sistema del Mare di Sardegna) e Ile Rousse (OfficiedesTransports de la Corse) il confronto ha per l'appunto riguardato l'efficacia della stesura di un manto stradale fonoassorbente valutato con il metodo CPX. Per Genova si riportano non soltanto le misure realizzate prima e dopo la realizzazione della duna in punti significativi del campo sonoro, ma anche delle simulazioni numeriche rivolte ad analizzare gli effetti dell'opera sull'intero quartiere in termini di riduzione del rumore. Nel caso di Nizza il monitoraggio ha accompagnato la gestione attiva della mappatura acustica delle aree urbane prossime al porto, con interessanti indicazioni circa l'evoluzione della situazione locale.

La misurazione dei parametri sonori è stata realizzata dai partner gestori dei porti, in collaborazione con UNIPI e UNIGE ed ARPAL, attraverso strumentazioni acustiche sia fisse che mobili, in parte nella disponibilità degli Enti, in parte acquisite nell'ambito del progetto dai partner MNCA e APSMLO. In particolare gli Enti di ricerca hanno provveduto alla determinazione del posizionamento della strumentazione di acquisizione, alla definizione delle modalità tecniche di misura e dei parametri acustici da rilevare e hanno indirizzato le campagne di monitoraggio al fine di valutare il clima acustico precedente e successivo alla realizzazione delle opere di mitigazione.

I dati qui riportati saranno anche utili per arricchire i data base attualmente gestiti dai partner del progetto, al fine di controllare e monitorare lo stato di attuazione degli strumenti di pianificazione acustica attualmente vigenti e di competenza istituzionale.

II. Portoferraio

a. Descrizione

La presente relazione riporta il confronto dei risultati ottenuti nelle campagne Ante e Post Operam. La tecnica di misura utilizzata in questa sezione è il metodo CPX che si basa sulle norme tecniche UNI EN ISO 11819-2 e ISO/TS 11819-3 e ha lo scopo di valutare l'emissione acustica dovuta all'interazione dello pneumatico con la pavimentazione, in condizioni in cui essa risulta dominante rispetto alle altre sorgenti di rumore. Il tratto stradale oggetto di indagine è indicato in Figura 1 con una linea rossa ed è lo stesso dove è stata realizzata l'opera di mitigazione costituita dalla posa dell'asfalto assorbente.

Figura1:Trattidistradaindagati

b. Ante Operam

La Tabella 1 riporta i risultati dei valori medi spaziali di L_{CPX} in riferimento al tratto indagato alla velocità di 50 km/h.

Tabella 1: Risultati ottenuti per le pavimentazioni indagatein condizione ante operam

ante operam	**CPX per corsia**	
	Direzione nord	Direzione sud
L_{CPX}	92,3±0,9	91,4±0,9

c. Post Operam

La Tabella 2 riporta i risultati dei valori medi spaziali di L_{CPX} riferiti al tratto indagato alla velocità di 50 km/h.

post operam	**CPX per corsia**	
	Direzione nord	Direzione sud
L_{CPX}	88,8±0,9	88,5±0,9

Tabella 2: Risultati ottenuti per le pavimentazioni indagatein condizione postoperam

d. Valutazione

La Tabella 3 riporta il confronto dei risultati in condizione ante e post operam evidenzia il significativo beneficio acustico derivante dalla realizzazione dell'intervento. In particolare, come evidenziato in tabella, la pavimentazione "post operam" risulta caratterizzata da un livello medio L_{CPX} inferiore di oltre 3 dB(A) rispetto alla pavimentazione presente ante intervento "ante operam".

	CPX per corsia	
	Direzione nord	Direzione sud
L_{CPX}	3,5	2,9

Tabella 3: confrontidei risultati in condizione ante e post operam

III. Porto di Cagliari

a. Descrizione

Per il porto di Cagliari sono stati indagati due tratti di strada interni alla pertinenza portuale e mostrati in Figura 2. Denominato Tratto 2 e Tratto 3. Il Tratto 2, posizionato presso la Calata Riva di Ponente e interno al varco, presenta una nuova pavimentazione denominata Post Operam. Il Tratto 2 è stato indagato in direzione ovest (ossia procedendo dal Molo Sabaudo verso il Molo Rinascita). Il Tratto 3, collocato presso la Calata Riva di Ponente ed esterno al varco, è stato indagato in direzione ovest (procedendo dal Molo Sabaudo verso il Molo Rinascita). Tale tratto risulta caratterizzato dalla presenza di una nuova pavimentazione denominata Post Operam.

Figura2:Trattidistradaindagati

b. Ante Operam

La Tabella 4 riporta i risultati del Tratto 3 ottenuti con il metodo CPX nelle due direzioni Est e Ovest. La Tabella 5 invece presenta i risultati del Tratto 2, sia per la pavimentazione con conglomerato bituminoso che quella in conglomerato cementizio nella sola direzione Ovest, ottenuti con il metodo CPB.

Tabella 4: Livelli LCPX, con relativa incertezza associata, a 50 km/h.

PavimentazioneTratto3	Direzione	LCPXa50km/h[dB(A)]
AnteOperam(AO) Tratto3	Dir. Est	91.3± 0.9
	Dir. Ovest	91.7± 0.9

Tabella 5: Livelli CPB stimati a 50 km/h con la regressione per il mezzo Mercedes Vito

PAVIMENTAZIONETratto2	LCPB[dB(A)]	
pavimentazione in conglomerato bituminoso	Dir.Ovest	73.5 ± 0.7
pavimentazione in conglomerato cementizio	Dir.Ovest	78.2 ± 3.2

c. Post Operam

In Tabella 6 sono riportati i livelli L_{CPX} per il Tratto 2 e il Tratto3 in direzione Ovest, mentre in Tabella 7è indicatoil risultato relativo al Tratto 2 ottenuto con il metodo CPB.

Tabella 6: Livelli LCPX per ciascun tratto di pavimentazione, con relativa incertezza associata, a 50 km/h.

Pavimentazione	Direzione	LCPXa50km/h[dB(A)]
Post Operam T2CalataRivadiPonente -Tratto2	Dir.Ovest	91.9± 0.9
Post Operam T3CalataRivadiPonente -Tratto3	Dir.Ovest	87.9± 0.9

Tabella 7: Livelli CPB stimati a 50 km/h con la regressione per il mezzo Mercedes Vito

PAVIMENTAZIONE	LCPB[dB(A)]

Post Operam T2CalataRivadiPonente - Tratto2	Dir.Ovest	72.6±0.6

d. Valutazione

La valutazione dell'efficacia dell'intervento di risanamento acustico realizzato ha visto il confronto dei risultati relativi alla nuova la pavimentazione Post Operam T3: come emerge dalla Tabella 8 la nuova pavimentazione risulta caratterizzata da un livello medio LCPX inferiore di oltre 3 dB(A) rispetto alla pavimentazione presente ante intervento nel medesimo Tratto 3. Infine, la Tabella 9 riporta il confronto dei risultati CPB per cui la pavimentazione Post Operam T2 presenta livelli LCPB inferiori rispetto alle due pavimentazioni presenti nel Tratto 2 nella campagna Ante Operam (inferiori di circa 1 dB(A) rispetto alla pavimentazione in conglomerato bituminoso AO CB e di quasi 6 dB rispetto alla pavimentazione in conglomerato cementizio AO CC).

Tabella 8: Livelli LCPX, con relativa incertezza associata, a 50 km/h

Pavimentazione	Direzione	LCPXa50km/h[dB(A)]
Tratto2	Dir.Ovest	n.d
Tratto3	Dir.Ovest	3.8

Tabella 9: Livelli CPB stimati a 50 km/h

PAVIMENTAZIONETratto2	LCPB[dB(A)]	
Post Operam T2- AO CB	Dir.Ovest	Circa 1
Post Operam T2- AO CC	Dir.Ovest	Circa 6

IV. Porto di Ile Rousse

a. Descrizione

Nel porto di Ile Rousse (Corsica) l'intervento di risanamento acustico è consistito nella posa in opera di una pavimentazione a bassa riflessione sonora sia all'interno dell'area di pertinenza portuale, sia lungo un tratto della strada pubblica a doppio senso che collega il centro cittadino al porto ed all'isola. Sono stati indagati tre tratti di strada: uno interno alla pertinenza portuale, definito Tratto 3, e i Tratti 1 e 2, posizionati lungo la strada pubblica (mostrati in Figura 3). Questi ultimi due tratti presentano rispettivamente una pavimentazione a basso impatto acustico, denominata Low Noise, e una pavimentazione priva di asfalto assorbente, denominata Ante Operam. Per i Tratti 1 e 2 sono state indagate le due opposte direzioni di marcia, definite Nord e Sud. Nel Tratto 3, interno alla pertinenza portuale, è presente la medesima tipologia di pavimentazione a basso impatto acustico, denominata Low Noise. Il Tratto 3 è stato indagato in direzione ovest, ossia procedendo dal molo (caratterizzato dalla presenza del faro) verso il varco di ingresso dell'area di pertinenza portuale. In particolare, il confronto si basa sui dati del Tratto 1, con asfalto assorbente, e del Tratto 2 senza intervento di mitigazione.

Figura 3: Tratti di strada indagati

b. Ante Operam

La Tabella 10 riporta il risultato del Tratto 2 ottenuti con il metodo CPB (Control Pass-By)in direzione Sud. La Tabella11 invece presenta i risultati del Tratto 2, ricavati con il metodoCPX per entrambe le direzioni.

Tabella 10: Risultati ottenuti per le pavimentazioni indagatein condizione ante operam

PavimentazioneTratto 2	**L_{CPB}[dB(A)]**	
AO	Dir.Sud	71.7±0.9

Tabella 11: Risultati ottenuti per le pavimentazioni indagatein condizione ante operam

PavimentazioneTratto 2	**Direzione**	**L_{CPX}a50km/h[dB(A)]**
AnteOperam(AO)	Dir. Nord	94.8±0.9
	Dir. Sud	95.1±0.9

c. Post Operam

La Tabella 12 riporta il risultato del Tratto 1 ottenuti con il metodo CPB (Control Pass-By) in direzione Sud. La Tabella13 invece presenta i risultati del Tratto 1, ricavati con il metodo CPX per entrambe le direzioni.

Tabella 12: Risultati ottenuti per le pavimentazioni indagatein condizione postoperam

PavimentazioneTratto 1	**L_{CPB}[dB(A)]**	
LowNoise	Dir.Sud	69.5±0.9

Tabella 13: Risultati ottenuti per le pavimentazioni indagatein condizione post operam

PavimentazioneTratto 1	**Direzione**	**L_{CPX}a50km/h[dB(A)]**
LowNoise	Dir. Nord	90.3±0.8
	Dir. Sud	90.6±0.8

d. Valutazione

Con riferimento alla valutazione dell'efficacia dell'intervento di risanamento acusticorealizzato, il confronto dei risultati relativi alla nuova pavimentazione Low Noise e alla contiguapavimentazioneAnteOperamevidenziailsignificativobeneficioacusticoderivantedallarealizzazionedell'intervento.

Inparticolare,comeevidenziatoinTabella14,confrontodeirisultatiCPB,lapavimentazione"Low Noise" risulta caratterizzata da un livello inferiore di oltre 2 dB(A) rispetto alla contiguapavimentazioneAnteOperam"AO". Mentre inTabella15,ilconfrontodeirisultati CPX mostra chelapavimentazione"LowNoise"risultacaratterizzata da un livello medio LCPXa 50 km/h inferiore di oltre 4 dB(A) rispetto alla contiguapavimentazioneAnteOperam"AO".

Tabella 14: Risultati ottenuti per le pavimentazioni indagate

PAVIMENTAZIONE	LCPB[dB(A)]	
= OA - LowNoise	Dir.Sud	2.2

Tabella 15: Risultati ottenuti per le pavimentazioni indagate

Pavimentazione	Direzione	L_{CPX}a50km/h[dB(A)]
	Dir. Nord	4.5
	Dir. Sud	4.5

V. Porto di Genova-Prà - campagna di misure

a. Descrizione

La presente sezione riporta il confronto dei risultati ottenuti nelle campagne Ante e Post Operam nella zona circostante il porto commerciale di Genova Prà.

La realizzazione dell'opera di mitigazione è consistita nella realizzazione di una duna artificiale, sistemata tra la zona definita "Fascia di Rispetto a mare" e l'area destinata alle attività portuali. Tale intervento è stato suddiviso in due lotti, come evidenziato nell'immagine in Figura 4: il primo lotto, sul lato ponente, è esteso per 500m mentre il secondo lotto, sul lato levante, è esteso 250m.

L'obiettivo di valutare l'efficacia dell'intervento di mitigazione ha guidato la scelta del posizionamento delle stazioni fonometriche negli stessi punti per le due campagne di misura (Ante Operam e Post Operam) nonostante siano occorsi dei cambiamenti durante l'intervallo di tempo intercorso tra le due campagne. Occorre infatti segnalare che la postazione GE0301 ha subito uno spostamento tra la fase Ante Operam e quella Post Operam dovuto alla cessata disponibilità della persona ospitante l'apparecchiatura a seguito della diffusione della pandemia da Covid-19. La postazione GE0101, invece, durante la fase Ante Operam, risentiva della presenza nei pressi della centralina ambientale ARPAL, in funzionamento per tutto il periodo, per cui si è reso necessario considerare l'unico giorno di spegnimento della stessa nel confronto con la fase Post Operam, durante la quale la centralina ARPAL era sempre inattiva. Inoltre, le stazioni di misura (punti rossi in Figura 4) sono state potenziate aggiungendo delle schede di memoria da 128 GB, a fronte delle schede di 2 GB della fase Ante Operam, che potessero registrare i file audio da analizzare settimanalmente per avere una valutazione finale la più completa possibile.

La postazione GE0201, la più vicina al porto, non ha subito variazioni e costituisce la fonte principale dei dati qui riportati.

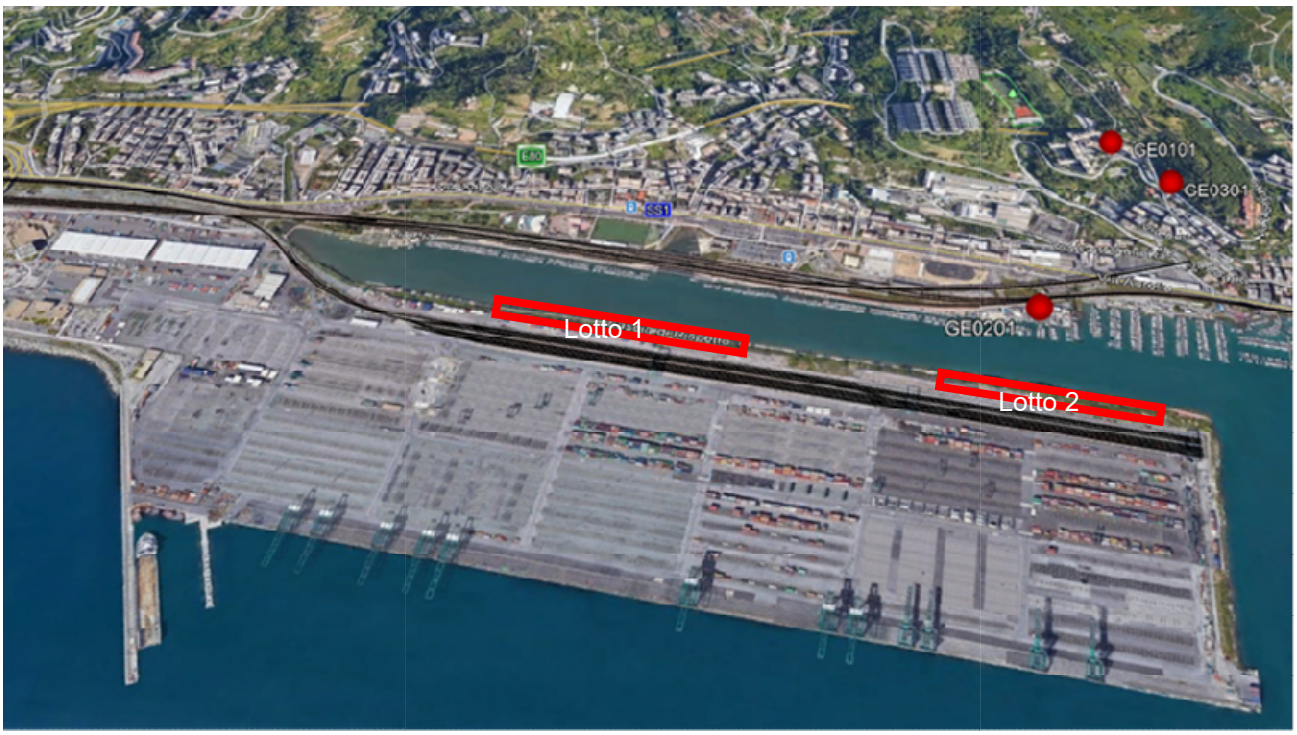


Figura 4 Area di indagine e punti di misura

b. Ante Operam

Basandosi sulle rilevazioni dei parametri acustici, pur in assenza di file audio, è stato considerato un intervallo di tempo all'interno delle ore 00:00:00÷05:00:00 della notte in modo da escludere i rumori provenienti dalle attività non portuali. Per completezza si sono analizzate diverse configurazioni: senza navi, con una nave, con due navi e con tre navi in banchina.

La Tabella 16 riporta i valori per un solo giorno della GE 0101, nella configurazione con una nave, per i motivi sopracitati e La Tabella 17riporta i valori dellapostazione GE 0201, nelle configurazioni con una, due e tre navi. In quest'ultimo caso i dati risalgono al giorno 9 gennaio 2020 nell'intervallo di tempo 04:30÷05:00 per le configurazioni con una nave, mentre con due navi i dati risalgono al 31 dicembre 2019 nel periodo 00:30÷01:30 e con tre navi al 3 gennaio 2020 nell'intervallo 00:30÷01:30. La relazione integrale relativa alle misure Ante Operam si trova nel report T3.1.1.

Tabella 16: valori della GE 0101 in presenza di una sola nave di Leq, Lmax, Lmin, L1, L10, L90, L95, L99 in ponderazione A e LINin condizione anteoperam

postazione GE 0101

Config.	Pesatura	Unit	Leq	Lmin	Lmax	L1	L10	L90	L95	L99
Una nave	LIN	dB	61,6	48,1	81,0	69,8	64,1	54,8	53,8	51,9
	A	**dB**	45,7	39,9	63,1	54,8	46,3	42,1	41,7	40,8

Tabella 17: valori della GE 0201 in presenza di una, due e tre navi di Leq, Lmax, Lmin, L1, L10, L90, L95, L99 in ponderazione A e LINin condizione anteoperam

postazione GE 0201									
Config.	Pesatura	Unit	Leq	Lmax	L1	L10	L90	L95	L99
Una nave	LIN	dB	58,4	73,2	65,7	60,5	54,0	53,3	52,0
	A	**dB**	46,5	57,6	51,9	48,7	43,2	42,7	42,2
Due navi	LIN	dB	72,2	79,8	75,7	73,7	69,2	68,5	67,3
	A	**dB**	56,2	67,9	62,7	58,1	52,5	51,8	50,9
Trenavi	LIN	dB	60,7	77,5	68,4	63,3	55,0	54,0	52,1
	A	**dB**	49,8	79,6	57,2	50,6	43,7	43,1	42,3

c. Post Operam

In questa fase, i file audio (file .wav) hanno permesso di ripulire i dati rilevati, cioè di escludere i contributi sonori estranei al porto, e di estendere il periodo di osservazione all'intero intervallo giornaliero.

Al fine di valutare principalmente il rumore prodotto dalle attività di carico, scarico e stazionamento delle navi in banchina, la movimentazione di merci all'interno dell'area portuale e tutte altre attività legate al porto, si è ritenuto opportuno identificare il periodo in cui la rumorosità di origine non portuale era meno presente. Tali condizioni si sono verificate nel periodo notturno (23:00:00÷04:00:00), dato che nel periodo diurno il clima acustico risente dei contributi di sorgenti esterne e nella prima mattina (dalle ore 4:30:00 alle 7:20:00), in tutti i tre siti, sono presenti sorgenti casuali quali i versi degli uccelli. Dopo tale passaggio, si è proceduto all'isolamento del rumore portuale, cioè escludendo tutta l'immissione dovuta dalle sorgenti indesiderate (componente casuale).

Nelle Tabelle 18 e 19 mostrate di seguito si riportano i valori della postazione GE 0201, nelle configurazioni con una, due e tre navi, e quelli di un solo giorno della GE 0101, nella configurazione con una nave, per il confronto con l'AnteOperam. I dati risalgono al giorno 30 maggio 2021 alle ore 02:00÷03:00 per le configurazioni con una nave, mentre con due navi i dati

risalgono al 2 giugno2021 dalle 01:00÷02:00 e con tre navi al 7 giugno 2021 dalle 02:00÷03:00. I giorni presi in esame sono stati scelti in modo da avere navi in banchina di lunghezza simile a quelle presenti nella fase Ante Operam e ormeggiate negli stessi punti d'attracco.

La descrizione completa delle misure Post Operam si trova nel report T3.2.1.

Tabella 18: valori della GE 0201 in presenza di una, due e tre navi di Leq, Lmax, Lmin, L1, L10, L90, L95, L99 in ponderazione A e LINin condizione post operam

postazione GE 0201								
Config.	Pesatura	Unit	Leq	L1	L10	L90	L95	L99
Una nave	LIN	dB	56,8	65,8	59,4	49,0	47,8	45,8
	A	**dB**	**43,4**	**49,7**	**45**	**39,8**	**39,2**	**38,2**
Due navi	LIN	dB	72,1	76,1	74,5	67,4	66,1	63,8
	A	**dB**	**54**	**56,9**	**55,7**	**51,8**	**51,3**	**50,5**
Trenavi	LIN	dB	65,0	73,9	67,5	58,1	57,1	55,2
	A	**dB**	**46,2**	**51,3**	**47,8**	**43,5**	**42,9**	**42**

Tabella 19: valori della GE 0101 in presenza di una sola nave di Leq, Lmax, Lmin, L1, L10, L90, L95, L99 in ponderazione A e LINin condizione post operam

postazione GE 0101										
Config.	Pesatura	Unit	Leq	Lmin	Lmax	L1	L10	L90	L95	L99
una nave	LIN	dB	55,1	46,0	75,1	62,5	56,9	50,4	49,6	48,1
	A	**dB**	45,1	39,5	61,4	51,9	46,1	42,3	41,8	40,8

d. Valutazione

Il confronto, cioè la differenza tra i dati delle due postazioni nelle diverse configurazioni, è riportato nelle Tabelle 20 e 21 e fa emergere che:

- Nella postazione GE0101, quella situata in collina, con una nave in banchina si nota che in ponderazione LIN (senza attenuazione di livello sonoro) il Leq nel Post Operam ha subito una variazione di 6,5 dB mentre i livelli di fondo (L90, L95, L99) riportano una diminuzione rispettivamente di 4,4, 4,2 e 3,8 dB mentre la L1 e L10 riportano una diminuzione di circa 7 dB. In ponderazione A non si notano variazioni significative.
- Nella postazione GE0201, quella più vicina al porto, con una nave in banchina si nota che in

ponderazione A il LAeq diminuisce di 3,1 dBA così come diminuiscono tutti i parametri riportati. In ponderazione LIN a presentare una maggior variazione sono i livelli di fondo: L90 5 B, L95 5,5 dB e L99 6,2 dB.

Nella configurazione con due navi, il dato più significativo emerge in ponderazione A nel LAeq, pari a 2,2 dBA di variazione. In ponderazione LIN risulta una buona diminuzione dei livelli di fondo: L90 1,8 dB, L95 2,4 dB, L99 3,5 dB.

Infine, nella configurazione con tre navi la ponderazione A presenta una diminuzione del LAeq di 3,6 dBA ma scarse variazioni nei livelli di fondo. In ponderazione LIN invece non si osserva nessuna diminuzione del rumore.

Per concludere, la configurazione con una nave a ponente, in corrispondenza della Duna, mostra l'effetto di mitigazione dell'opera nella postazione più vicina al porto GE 0201. Le altre due configurazioni, pur presentando variazioni meno significative, risentono comunque dell'effetto di schermo dell'opera. In definitiva la percezione del rumore all'orecchio umano, ponderazione A, risulta mitigata dalla Duna.

Tabella 20: confronti dei risultati in condizione ante e post operamdella GE 0101 in presenza di una sola nave di Leq, L1, L10, L90, L95, L99 in ponderazione A e LIN

postazione GE 0101								
Config.	Pesatura	Unit	Leq	L1	L10	L90	L95	L99
Una nave	LIN	dB	6,5	7,3	7,2	4,4	4,2	3,8
	A	**dB**	0,6	2,9	0,2	-0,2	-0,1	0

Tabella 21: confronti dei risultati in condizione ante e post operam della GE 0201 in presenza di una, due e tre navi di Leq, L1, L10, L90, L95, L99 in ponderazione A e LIN

postazione GE 0201								
Config.	Pesatura	Unit	Leq	L1	L10	L90	L95	L99
Una nave	LIN	dB	1,6	-0,1	1,1	5,0	5,5	6,2
	A	**dB**	3,1	2,2	3,7	3,4	3,5	4,0
Due navi	LIN	dB	0,1	-0,4	-0,8	1,8	2,4	3,5
	A	**dB**	2,2	5,8	2,4	0,7	0,5	0,4
Trenavi	LIN	dB	-4,3	-5,5	-4,2	-3,1	-3,1	-3,1
	A	**dB**	3,6	5,9	2,8	0,2	0,2	0,3

VI. Porto di Genova – Prà - Modellazione numerica

a. Contesto

L'obiettivo dello studio numerico condotto è produrre una previsione circa l'effetto della duna per quanto riguarda la mitigazione del rumore presente nel porto di Genova Prà.

In questo contesto è stata condotta una modellizzazione numerica del rumore proveniente dalle attività del porto con l'obiettivo di quantificare l'impatto acustico delle fonti portuali rispetto ad altri inquinamenti acustici esistenti, in particolare il traffico stradale. Grazie a tale modello si è poi valutato l'effetto che la costruzione di una duna produce in termini di riduzione del rumore. I risultati di questo studio e il metodo utilizzato sono dettagliati nelle sezioni seguenti.

b. Definizione e contesto normativo

Si richiamano di seguito le definizioni e le grandezze utilizzate in questo studio, nonché il contesto normativo che si applica a questo ambito.

Definizione

Il decibel (dB):

Il suono è una sensazione uditiva prodotta da un rapido cambiamento della pressione dell'aria attorno al suo punto di equilibrio. L'origine di questa variazione di pressione, chiamata pressione acustica, può ad esempio essere causata dalla vibrazione di un corpo che fa vibrare l'aria circostante. Viene quindi generata una successione di zone di pressione e vuoto che costituiscono l'onda acustica. Questa onda, una volta raggiunta l'orecchio, genera le vibrazioni del timpano che inducono la percezione del suono. La pressione sonora viene misurata in PASCAL (Pa). L'orecchio è sensibile alle pressioni che vanno da 0,00002 Pa a 20 Pa, ovvero un rapporto da 1 a 1.000.000. Per ridurre questa scala di pressione a una scala più ridotta e adattata alla percezione del suono, viene utilizzata una scala logaritmica rappresentato dal decibel (dB). Su questa scala, una differenza aritmetica nel livello espressa in dB corrisponde approssimativamente alla stessa percezione di diminuzione dell'aumento del livello sonoro qualunque sia il livello assoluto. Inoltre, sulla scala dei decibel, il livello di due fonti di rumore non correlate in un punto non è uguale alla somma dei livelli di ogni singola fonte. In questo caso non è possibile utilizzare la somma aritmetica. Notiamo ad esempio 40 dB + 40 dB = 43 dB e 40 dB + 50 dB ≈ 50 dB.

Il decibel ponderato A [dB(A)]:

Il decibel ponderato A [dB (A)] consente di tradurre l'unità fisica del decibel in un'unità più vicina alla percezione ponderando il livello del suono in una banda di frequenza data dalla percezione dell'orecchio umano in questa stessa banda.

Ottava:

L'ottava rappresenta la gamma di frequenza di cui la frequenza più alta è il doppio di quella più bassa. Per il rumore ambientale, vengono comunemente utilizzate le 8 ottave standard centrate sulle frequenze 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz .

Livello di rumore equivalente L_{eq}:

Il livello di rumore Leq espresso in dB rappresenta il livello medio misurato in **undeterminato periodo di tempo** mediante l'integrazione del livello continuo. L'equivalente livello globale Leq è espresso in dB. Il livello equivalente può anche essere misurato per banda di frequenza, in particolare per ciascuna banda di ottava. Quando i livelli sono ponderati in base alla ponderazione A, si ottiene il livello di rumore ponderato A equivalente complessivo, indicato con LAeq (questo è l'indicatore più comunemente usato e misurato).

Contesto normativo

La Direttiva europea 2002/49 / CE nota come "Direttiva sul rumore ambientale" (END) mira ad armonizzare le pratiche di lotta contro l'inquinamento acustico e a rendere disponibili al pubblico le informazioni sull'esposizione al rumore. Chiede inoltre agli Stati membri di proporre piani d'azione per combattere l'inquinamento acustico quando rappresenta un pericolo per la salute. Pertanto, i porti insulari urbani rientrano nel campo di applicazione della direttiva in quanto area potenzialmente rumorosa che colpisce un'area urbana.

Allo stesso tempo, in Francia e in Italia, le attività portuali che generano rumore che non sono soggette a classificazione (nel senso di Installazioni classificate per la protezione dell'ambiente) possono rientrare nel quadro dei rumori vicini. In questo caso, è necessario che l'emergenza (ovvero il superamento del livello dovuto a una particolare fonte in relazione al rumore ambientale) delle attività, misurate sulla linea di proprietà di un residente, rimanga al di sotto di una determinata soglia, giorno e notte, a seconda della durata dell'apparizione (per la Francia, questo è specificato nell'articolo R1336-6 del Codice di sanità pubblica, e per l'Italia nella legge 447 del 1995 e articolo 844 del Codice civile). La soglia di base oltre la quale è costituita un'offesa è ad esempio 5 dB (A) durante il giorno e 3 dB (A) di notte in Francia, per una fonte attiva di 8 ore o più. Questa soglia è tuttavia modulata in base alla durata dell'attivazione della particolare fonte considerata: più breve è la durata dell'attivazione, maggiore è la soglia. Quindi da un punto di vista normativo, possiamo accettare una fonte di rumore che provoca una maggiore emergenza se il suo tempo di attivazione è più breve.

c. Modellizzazione numerica

Limitazioni spaziali

L'area geografica di emissione sonora è essenzialmente costituita dal limite amministrativo del porto e dalle strade che lo percorrono.

La zona di impatto comprende, oltre alla zona di emissione, l'area urbana abitata prossima al porto

(Figura5).

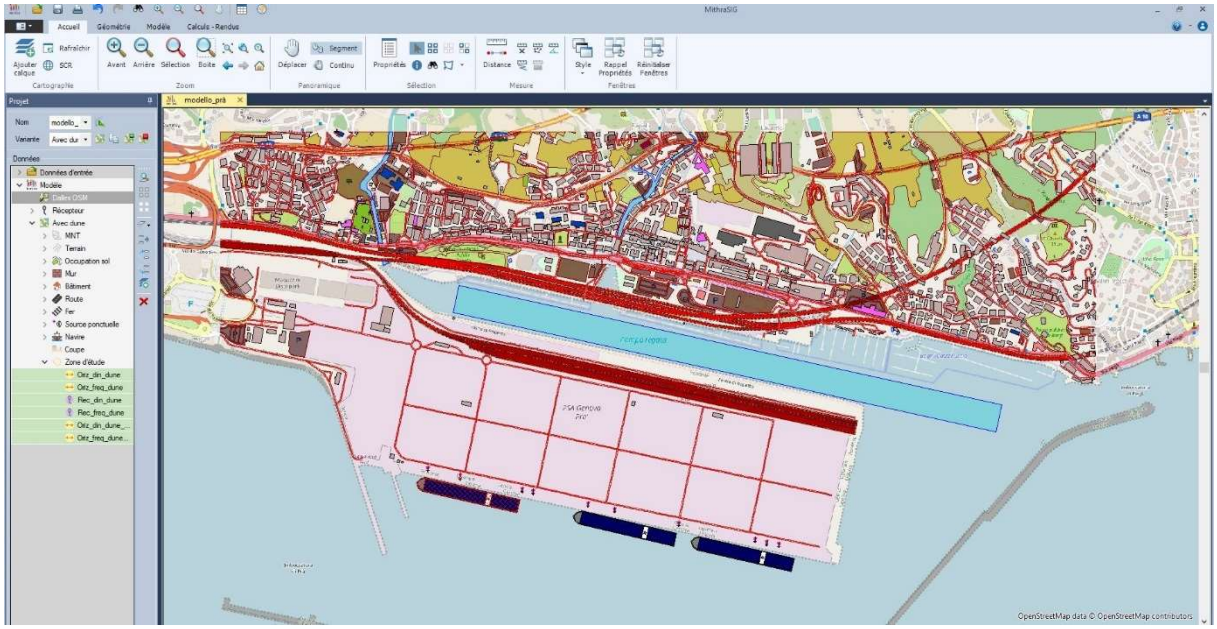


Figure 5: Area di studio per lo studio d'impatto del porto di Genova Prà

Funzionamento del porto e identificazione della sorgente

Le attività del porto di Genova Prà (e più in generale della zona di emissione del rumore) che potenzialmente emettono rumore sono numerose e complesse. La Tabella 22 fornisce un elenco non esaustivo delle principali fonti e degli elementi generali relativi al loro scenario di attività

Tabella 22: Principali tipologia di sorgenti sonore ed il loro scenario d'utilizzo.

Tipologia di sorgenti	**Scenario**
Traffico stradale dei viali (fuori zona del porto)	Traffico "continuo" che può essere descritto da un flusso di traffico medio (TMJA) e variazioni giornaliere tipiche
Traffico stradale supplementare nella zona di emissione durante le fasi di carico/scarico	Aggiunta di flussi di traffico su rotte portuali e strade principali vicino al porto, prima del carico e dopo lo scarico delle navi soprattutto veicoli pesanti
Navi in navigazione	Rumore emesso durante i viaggi nella zona di emissione durante l'arrivo e la partenza delle navi (i cui orari sono forniti dall'autorità portuale)
Gru	Rumore attivo solo durante la fase di movimentazione dei container
Cantiere	Rumore emesso durante le operazioni di manutenzione e riparazioni delle navi e delle gru
Navi alle banchine	Rumore emesso continuamente da alcune navi portuali (in particolare quelle che non sono collegate alla corrente e che richiedono generatori)

Traffico ferroviario	Rumore attivo solo durante le fasi di passaggio dei treni da/verso il porto

Dati di input necessari

I dati utilizzati per costruire il modello provengono da diverse fonti, a seconda del tipo di dati richiesti.

Geometria

Suolo

In assenza di dati precisi sul terreno, vengono utilizzati i dati del database SRTM (possibile funzionalità di MithraSIG). Questi dati prodotti dal satellite non sono estremamente precisi, il che richiede in particolare di ridefinire correttamente le banchine e il terrapieno.

Edifici

Gli edifici sono descritti in un file GIS estratto dal BD Topo: BATI / BATIMENTS.SHP

Tracciato delle strade

Le posizioni delle sezioni stradali sono descritte in un file GIS estratto dal DB Topo: RESEAU_ROUTIER \ ROUTE.SHP.

Limite terra-mare

Il profilo delle banchine e la linea di cresta della diga (informazioni che possono essere definite in modo errato nelle informazioni disponibili del BD Topo) sono integrate nel modello a partire dal seguente file GIS: BATI \ CONSTRUCTION_LINEAIRE.SHP.

Definizione della geometria delle navi

Le navi, in quanto oggetti geometrici, devono essere oggetto di una definizione speciale.Attraverso MithraSIG, è possibile disegnare una nave sia quella container che quella passeggeri.

Infatti, una volta conosciuto il nome della nave, si può risalire alle sue dimensioni dal sito del porto, con queste dimensioni si costruisce la nave con le comandi adeguati attraverso MithraSIG. Nel software c'è la possibilità di dividere la potenza sonora della nave lungo tutto la nave oppure scegliere di mettere tutta la potenza (dietro, in mezzo, davanti, a destra, a sinistra o entrambi i lati).

Tutte le potenze sonore assegnate alle varie sorgenti cioè nave, gru, mezzi pesanti, treni sono potenze vere presi sia dal progetto IMAGINE oppure misurato in loco nell'ambito di un altro progetto per caratterizzare una sorgente; quindi, il data base di MithraSIG è molto accurato in

quanto per ogni sorgente ci sono livelli di potenza sonora in base alla qualità della sorgente, ad esempio per gru al molo ci sono:

- Buona qualità: 100 dBA
- Media qualità: 105 dBA
- Pessima qualità: 110 dBA

Noi abbiamo usato le gru di qualità media.

Si riporta in Figura 6 l'immagine di una piccola parte del database presente nel software MithraSIG per la parte che riguarda le sorgenti puntuali nei porti e terminali.

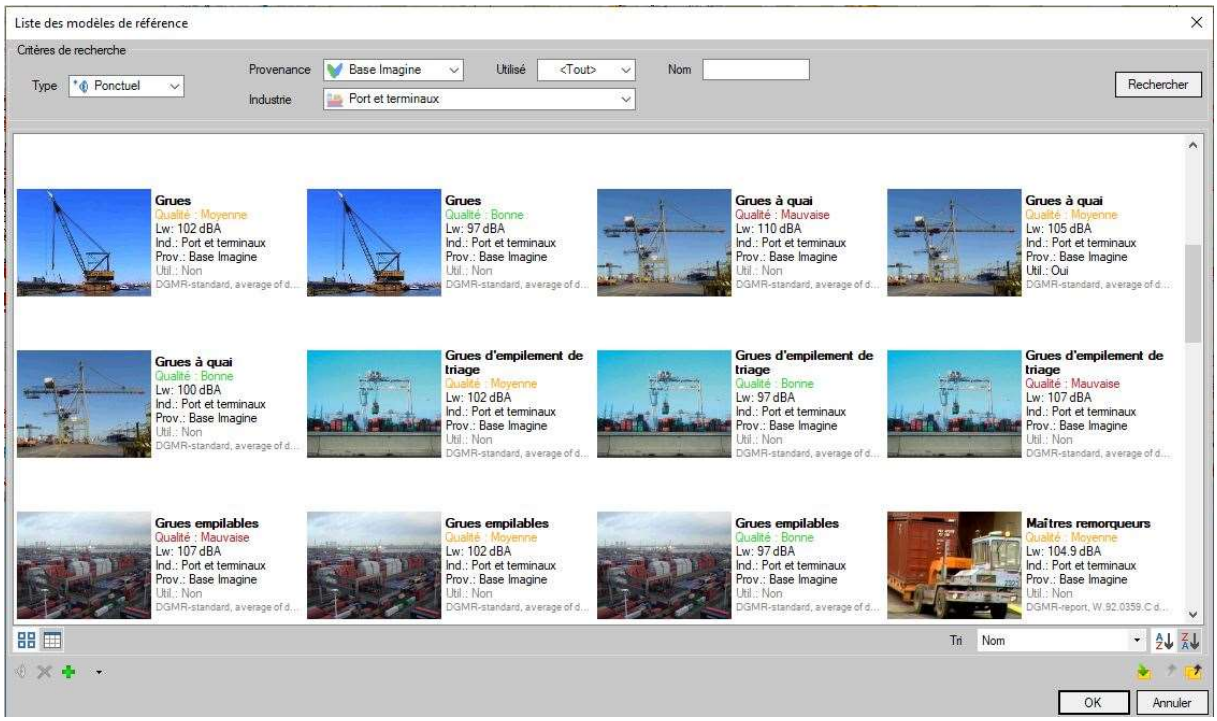


Figura 6 esempio del database presente nel software MithraSIG

Figura 7 mostra una vista del sito del porto di Genova Prà con la presenza delle tre navi considerate in questo studio.

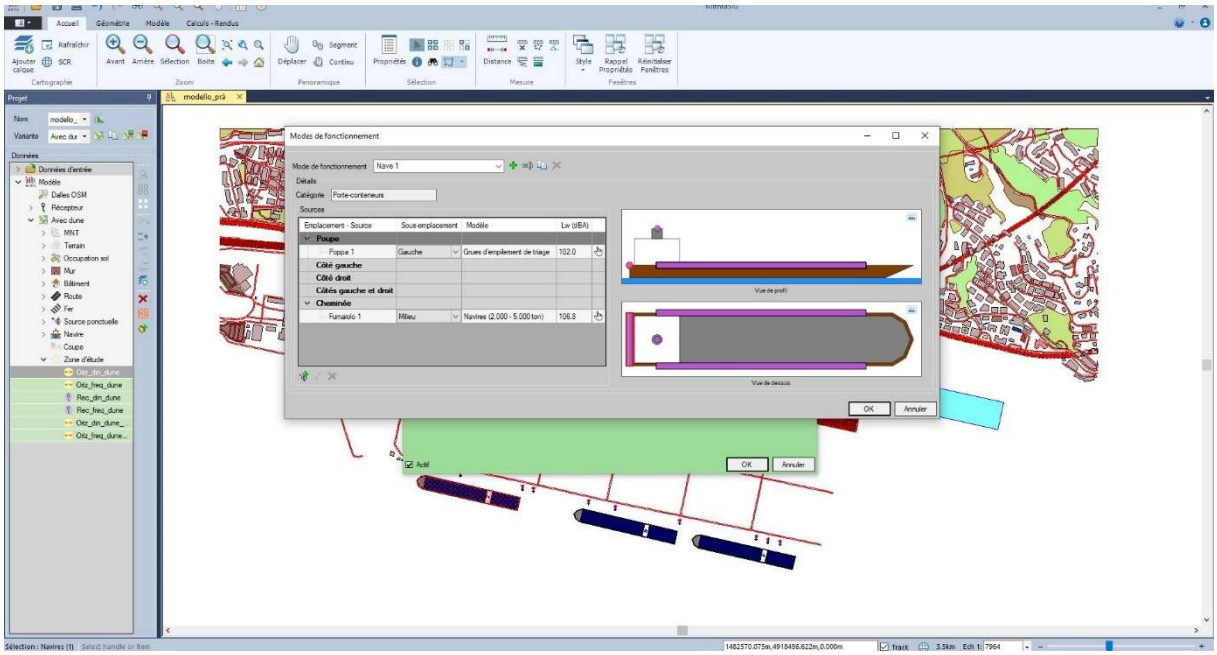


Figura7: esempio di vista del Porto di Genova Prà con navi considerati.

Effetto delle condizioni metereologiche

La propagazione del suono è fortemente influenzata dall'interazione tra la natura del suolo e le condizioni meteorologiche. Per la valutazione del rumore ambientale, è necessario operare una distinzione tra condizioni favorevoli alla propagazione (ad esempio sotto un cielo sereno o sottovento), condizioni neutre (ad esempio sotto un cielo coperto con venti calmi) e condizioni sfavorevole (ad esempio con vento contrario o in una giornata molto soleggiata). Va notato che queste sono le cosiddette condizioni "favorevoli" che generano livelli sonori più elevati.

I metodi di calcolo comunemente usati in Francia e in Italia (metodo francese chiamato "NMPB" descritto nella norma NF S31-133, o anche metodo europeo armonizzato chiamato "CNOSSOS-EU" descritto nella direttiva europea 2015/96 del 19/05 / 2015) tengono conto di questi effetti calcolando un indicatore di rumore medio ponderando due condizioni rappresentative:

$$L_{eq,T} = 10\lg\left(\frac{p_{FAV}}{100}10^{L_{p,FAV}/10} + \left(1-\frac{p_{FAV}}{100}\right)10^{L_{p,HOM}/10}\right)$$

p_{FAV} è una frequenza di insorgenza di condizioni favorevoli (tra 0 e 1). Per la Francia metropolitana, la frequenza di insorgenza di condizioni favorevoli è stata valutata da record climatici rappresentativi (oltre 10-30 anni di osservazioni) per 40 stazioni meteorologiche sparse sul territorio. Questi valori sono pubblicati nell'appendice alla norma NF S31-133 e presentati sotto forma di "rose di occorrenza" per diverse direzioni di propagazione del recettore di origine e per diversi periodi della giornata.

Il metodo qui descritto consente di calcolare tale rosa di occorrenza per qualsiasi sito da dati specifici.

Files necessari

I file necessari per calcolare la rosa di occorrenze sono file tabulati che devono contenere le seguenti informazioni per almeno un anno:

- **Dati giornalieri su alba e tramonto del sole**
  - Data
  - Ora UTC dell'alba
  - Ora UTC di passaggio al meridiano (zenit)
  - Ora UTC del tramonto del sole
  - Indicatore di stagione, "estate" dall'equinozio di primavera (20/03/2018, in questo caso) all'equinozio di autunno (23/09/2018)

- **Dati meteorologici orari**
  - Data e ora UTC dell'osservazione

- Quantità di pioggia nell'arco di un'ora (in mm)
- Forza del vento (in km / h, 10 m dal suolo)
- Direzione del vento (relativa al nord, in senso orario)
- Nuvolositànegliocta s
- Indicatore dell'ora legale (dal 25/03/2018, dalle 2:00 al 28/10/2018, dalle 3:00)
- Ora legale (ora UTC + 1h in inverno, ora UTC + 2h in estate)

Descrizione del metodo di analisi

I principi del metodo di analisi sono descritti nelle norme NF S31-110: 2005. Si basa su una griglia di valutazione qualitativa, nota come "griglia di Zouboff", che utilizza una caratterizzazione euristica dello stato aerodinamico e termico dell'atmosfera. L'allegato A della norma NF S31-120: 2018 fornisce ulteriori dettagli su un metodo operativo che consenta di collegare l'input del metodo alle osservazioni quantitative fatte dalle stazioni meteorologiche.

Il metodo quantitativo di Zouboff utilizza:

- Una caratterizzazione Ui delle condizioni del vento

	Contraire	Peu contraire	De travers	Peu portant	Portant
Vent fort	U1	U2	U3	U4	U5
Vent moyen	U2		U3	U4	
Vent faible	U3				

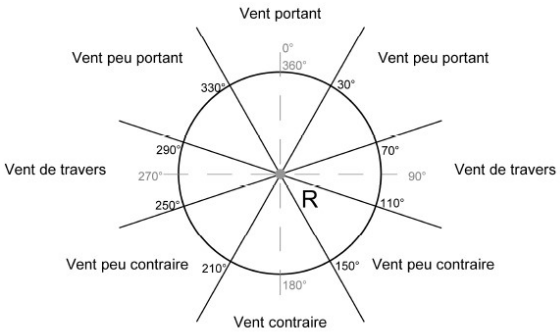
- Una caratterizzazione Ti delle condizioni termiche

	Rayonnement	Humidité du sol	Vitesse du vent	Ti
Jour	Fort	Sec	Faible ou moyen	T1
	Faible ou moyen	Humide	Fort	T3
	Autres cas			T2
Période de lever ou coucher du soleil				T3
Nuit	Ciel dégagé	-	Faible	T5
	Autres cas			T4

- Al fine di caratterizzare la propagazione acustica secondo il criterio (molto) sfavorevole (-, --), neutro (Z) o (molto) favorevole (+, ++).

	U1	U2	U3	U4	U5
T1		--	-	-	
T2	--	-	-	Z	+
T3	-	-	Z	+	+
T4	-	Z	+	++	++
T5		+	+	++	

La quantificazione del vento si basa sui valori dell'angolo relativo tra la direzione di propagazione e la direzione del vento (0 ° che rappresenta la direzione della sorgente vista dal ricevitore):



La quantificazione della velocità del vento utilizza i limiti indicati di seguito. Quando si utilizzano i dati forniti dal cliente, abbiamo ipotizzato che i dati di input siano dati in m / s ad un'altezza di 10 m dal suolo.

Hauteur de mesure	h = 2m	h = 10m	Observations visuelles
Vent fort	vitesse > 3 m/s	vitesse > 4,3 m/s	Les feuilles sont sans cesse en mouvement. Les petites branches plient.
Vent moyen	1 m/s < vitesse < 3 m/s	1,4 m/s < vitesse < 4,3 m/s	On sent le vent sur le visage. Les feuilles s'agitent.
Vent faible	vitesse < 1 m/s	vitesse < 1,4 m/s	On ne sent pas le vent sur le visage. Les feuilles sont immobiles.

La forza della radiazione solare è apprezzata in base alla stagione, al tempo e alla nuvolosità:

- Per il periodo "estivo", dall'equinozio di primavera all'equinozio di autunno:

Heure solaire	rayonnement fort	rayonnement moyen	rayonnement faible
soleil à ± 3 h par rapport au zénith	≤ 5 octas	≥ 6 octas	
1 h après le lever du soleil jusqu'à 3 h avant le zénith ou 3h après le zénith jusqu'à 1 h avant le coucher du soleil		≤ 4 octas	≥ 5 octas
jusqu'à 1 h après le lever du soleil ou jusqu'à 1h avant le coucher de soleil			Tous les cas

- Per il periodo "invernale" dall'equinozio d'autunno all'equinozio di primavera

Heure solaire	rayonnement fort	rayonnement moyen	rayonnement faible
soleil à ± 3 h par rapport au zénith	0 octa (absence totale de nuages)		
2 h après le lever du soleil jusqu'à 1 h avant le coucher du soleil		< 4 octas	> 5 octas
jusqu'à 2 h après le lever du soleil ou jusqu'à 1 h avant le coucher de soleil			Tous les cas

La nuvolosità è apprezzata in "octas", passando da 0 per un cielo sereno fino a 8 per una copertura nuvolosa totale. Per le ore notturne (tra il tramonto e l'alba), la condizione di radiazione

viene valutata direttamente dalla copertura nuvolosa: cielo sereno (oltre l'80%) o cielo coperto (oltre il 20%).

Lo stato idrico del suolo viene valutato dalla quantità di precipitazioni accumulate in periodi che vanno da 4 ore a 1 settimana:

- Terreno asciutto: non c'è stata pioggia nelle 48 ore e non più di 2 mm durante la settimana precedente la misurazione
- Terreno umido: almeno 4 o 5 mm di pioggia sono caduti nelle ultime 24 ore.

Automazione di processo

È stato sviluppato un modulo software dedicato per trasformare i dati meteorologici disponibili in un indicatore di propagazione secondo il metodo sopra descritto, quindi per calcolare le frequenze di occorrenza di condizioni favorevoli per periodo orario. Questi risultati orari vengono quindi combinati per produrre le tabelle per periodo normativo compatibile con il metodo di calcolo (NMPB-2008 per l'applicazione della legislazione nazionale, Cnossos-UE per le mappe strategiche conformi alla Direttiva Europea). Possiamo integrare questo modulo software nella funzionalità "Porto" di MithraSIG

Definizione delle zone di ricettori

Si sono definiti in questo studio due tipi di domini di calcolo:

- Mappa del rumore a 4 m ed a 15m di altezza sull'intera zona di impatto sonoro il passo del mesh è fissato a 10 m (la distanza tra 2 ricevitori non supera questo passo);
- Livelli di rumore nelle facciate di alcuni edifici nella zona di impatto acustico.

Questi due tipi di calcolo quantificano sia l'ambiente sonoro negli spazi pubblici (con l'obiettivo di migliorare la qualità del suono nelle aree urbane) sia l'esposizione delle persone nelle loro case (attraverso l'esposizione in facciata).

Parametri di calcolo

I parametri di calcolo in MithraSIG sono riportati nella Tabella 23. I dati meteorologici per i calcoli per ciascuna fascia oraria considerata utilizzano le rose di occorrenza.

Tabella 23: Parametri di calcolo MithraSIG.

Descrizione	***Valore***
Lancer géométrique	« Raggi veloci »

Distanza di propagazione massima (m)	1000
Passo angolare (gradi)	1
Numero massimo di riflessioni per ogni percorso	3
Modello di emissione traffico stradale	CNOSSOS-EU
Modello di propagazione acustica	CNOSSOS-2012

Analisi dei risultati

Tipologia di risultati presentati

I risultati utilizzano la scala di colori "Livelli sonori" presentata in Figura 8.

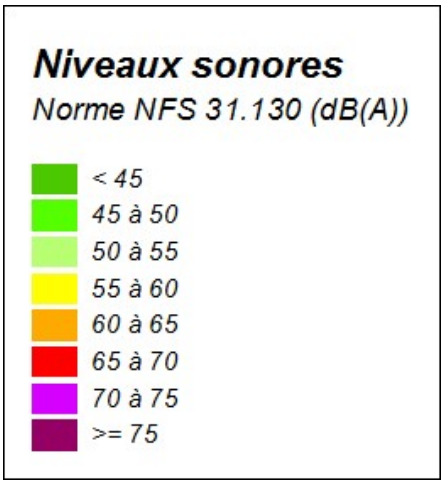
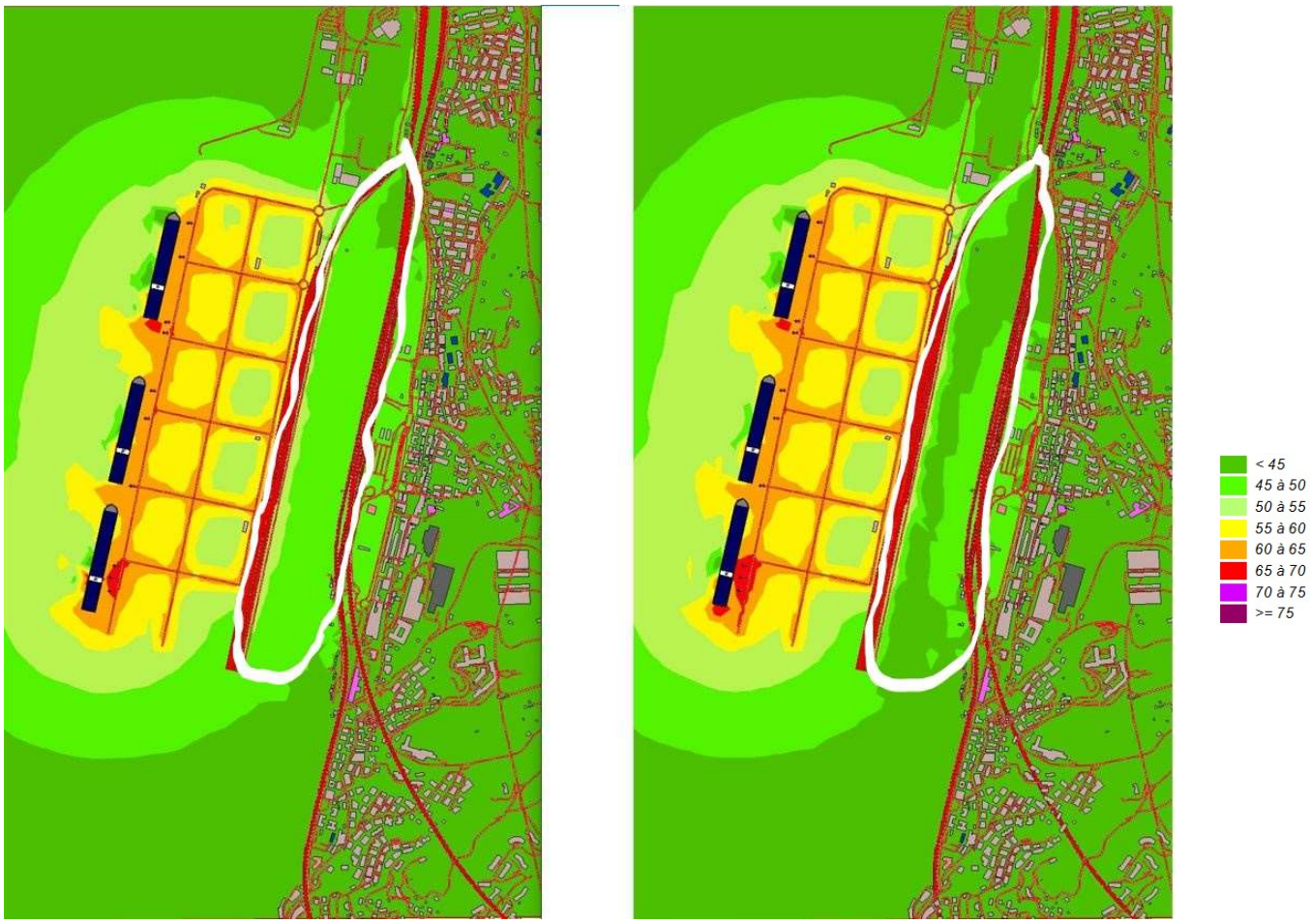


Figura 8: Definizione delle scale di colori.

Oltre alle mappe di livello sulla zona di impatto, i risultati includono i livelli di rumore calcolati per i singoli ricevitori posizionati sulla parte anteriore dell'edificio in zone precise.

Le seguenti mappe presentano i risultati dell'impatto del rumore complessivo del porto con tutte le sorgenti attive. Il traffico stradale utilizzato corrisponde alle stime del traffico associato alle stesse ore. Di conseguenza, i livelli di esposizione del solo traffico variano da una fascia oraria all'altra. Per semplicità abbiamo attribuito un valore di traffico nullo alle strade fuori dalla zona di emissione così da poter valutare effettivamente solo il rumore del porto.

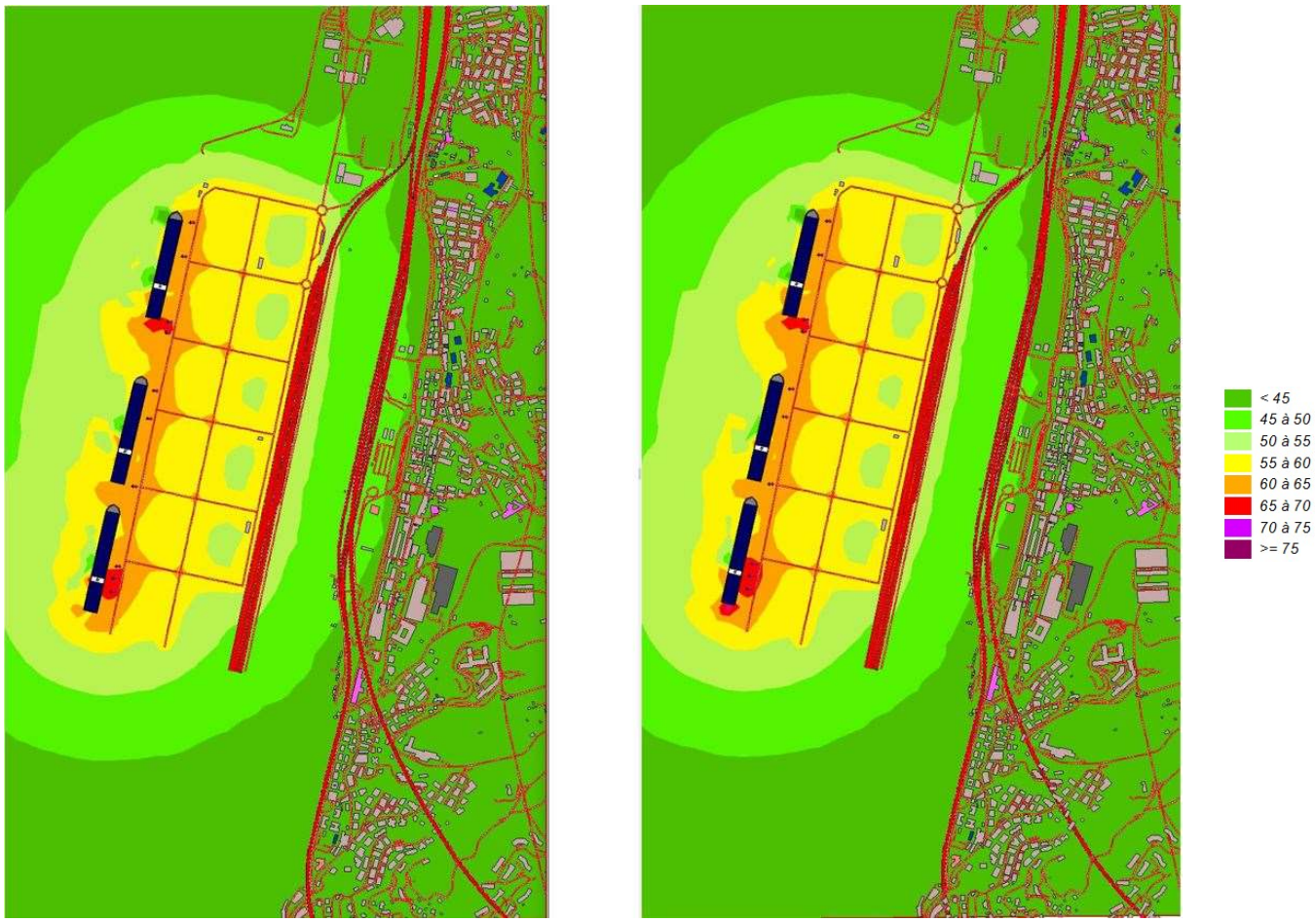
Mappe e tabelle dei risultati



a) b)

Figura 9: Mappe del rumore fatta ad un'altezza di 4m, a sinistra è la mappa senza duna (a), a destra quella con la duna (b).

Figura 9 riporta le mappe sonore alla quota di 4 m dal piano di campagna, ovvero all'altezza del primo piano delle abitazioni. A prima vista, può sembrare che non ci siano differenze tra le due mappe, quindi che la Duna non abbia effetto.Un'analisi e un'osservazione più attenta delle mappe, tenendo presente la scala dei colori utilizzati, indica che si ha comunque un effetto della duna, soprattutto nelle zone più prossime al manufatto. In effetti la zona prossima al canale di calma (cioè la zona circondata dalla linea bianca) ha un colore predominante diverso per le due mappe. Nella **mappasenza duna il rumore emesso è compreso tra 45 dB(A) e 50 dB(A)** mentre in quella **con la duna, il rumore stimato è inferiore a 45 dBA.** Viceversa, per quanto riguarda le aree urbane che si trovano oltre via Prà, cioè oltre la viabilità principale che collega la delegazione di Prà con quelle di Pegli a levante e Voltri a ponente, non si rileva una differenza sostanziale tra le due mappe. Pertanto, per tali aree, l'effetto della duna risulta per lo meno limitato**.**

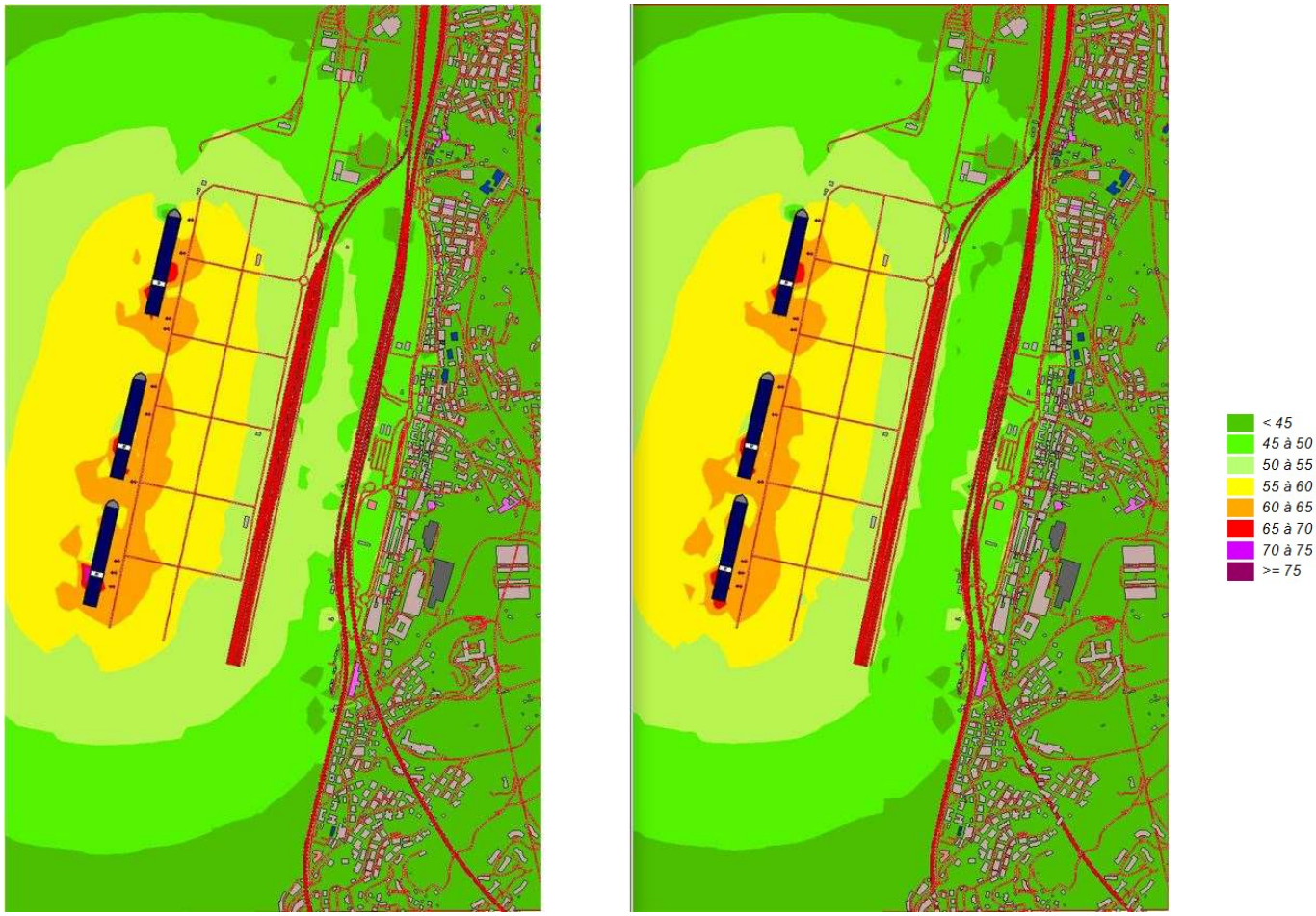


a) b)

Figura 10: Mappe del rumore fatta ad un'altezza di 15m, a sinistra è la mappa senza duna (a), a destra quella con la duna (b).

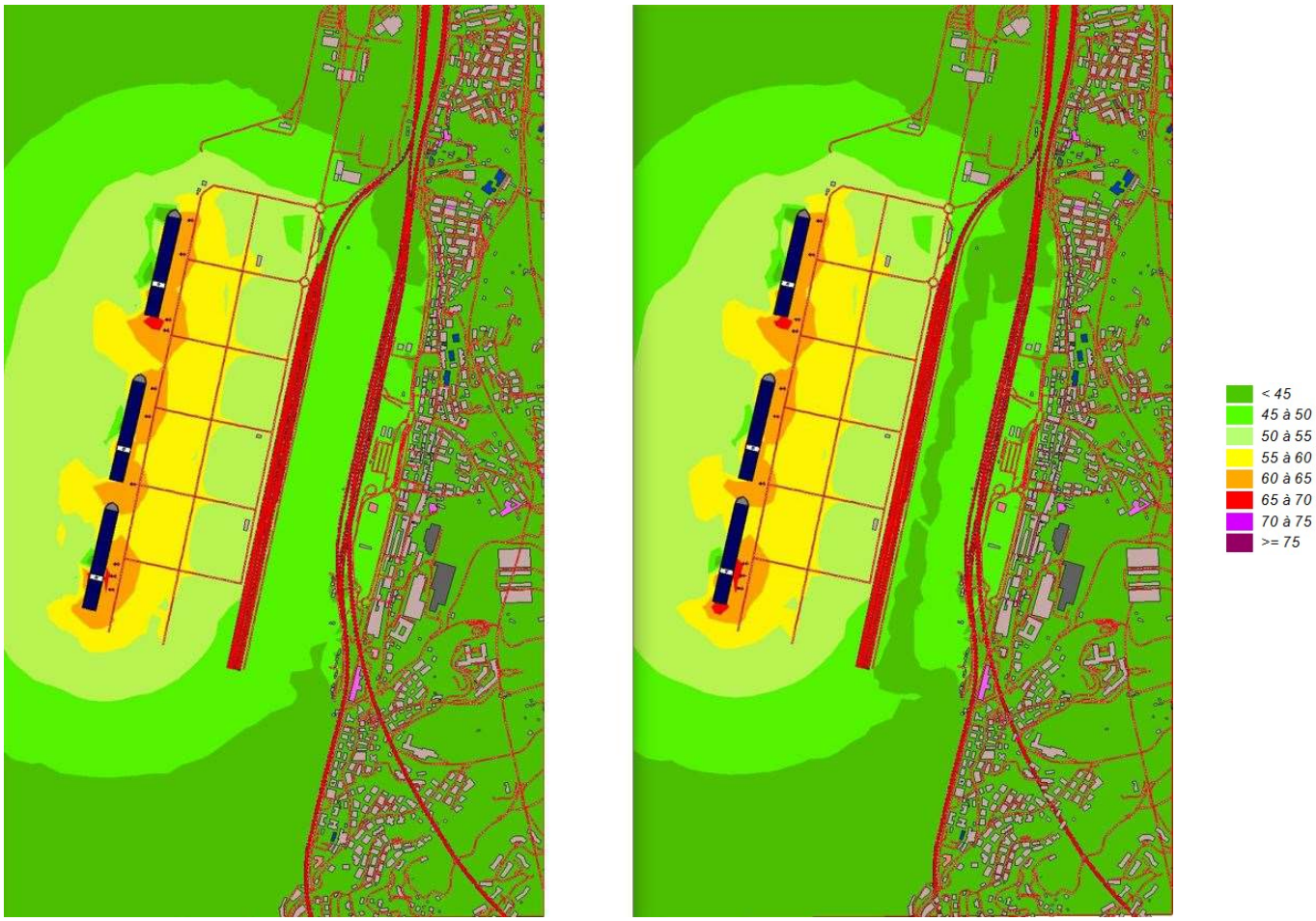
Figura 10 riporta le mappe sonore alla quota di 15 m dal piano di campagna, ovvero all'altezza dei piani alti dei palazzi che circondano l'area portuale; le abitazioni situate in tale posizione sono in generale le più esposte al rumore del porto. Le simulazioni indicano un effetto limitato della duna sulla propagazione del rumore portuale verso tali ricettori. Tale risultato è comunque in linea con le attese: lo schermo offerto risulta abbastanza efficace per le zone più basse, mentre intercetta molto parzialmente la propagazione sonora verso le abitazioni collocate ai piani alti oppure verso le zone collinari prospettanti il porto.

Mappe per specifiche bande di frequenza.



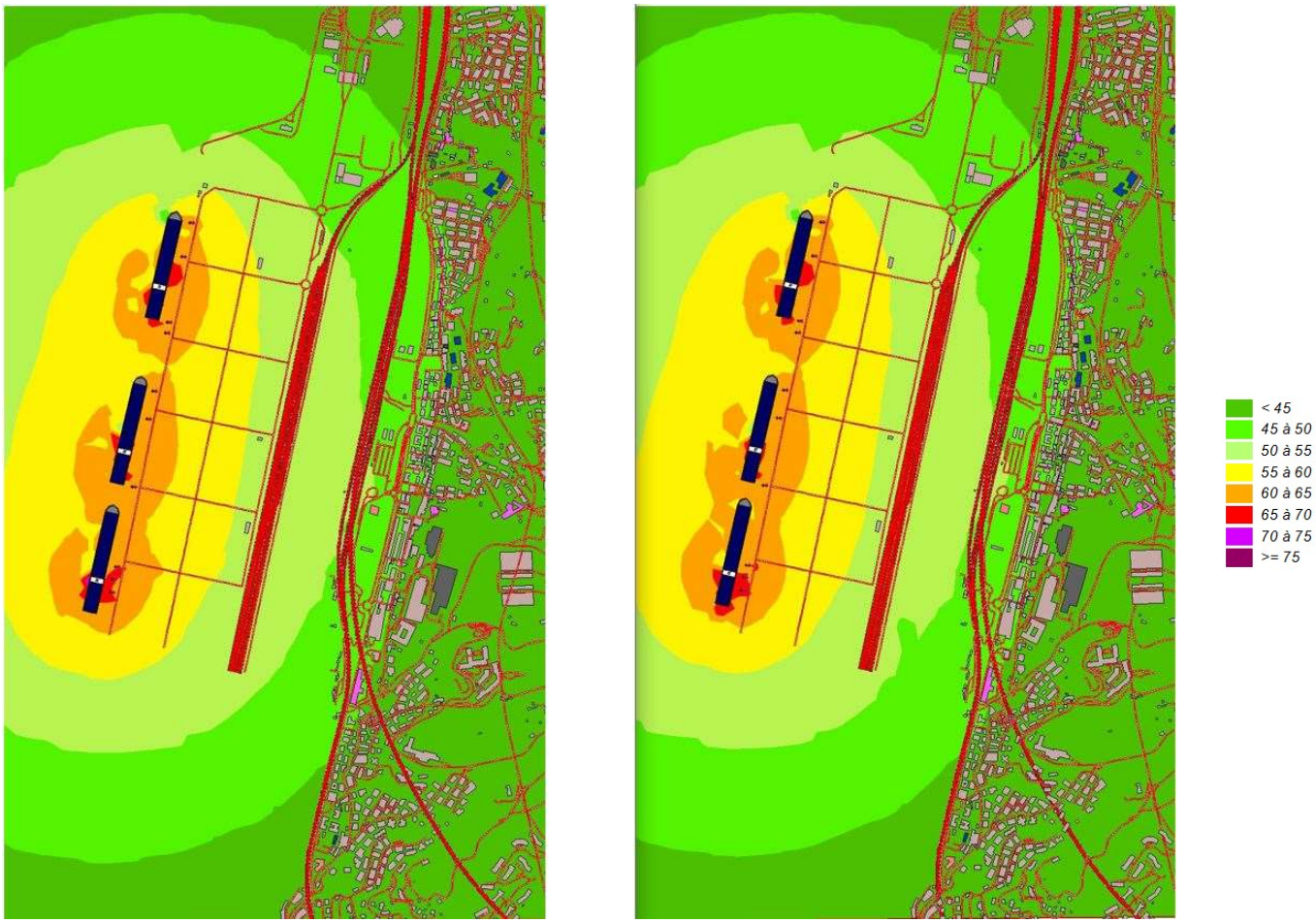
a) b)

Figura 9: Mappe del rumore fatta ad un'altezza di 4m a 50 Hz, a sinistra è la mappa senza duna (a), a destra quella con la duna (b).



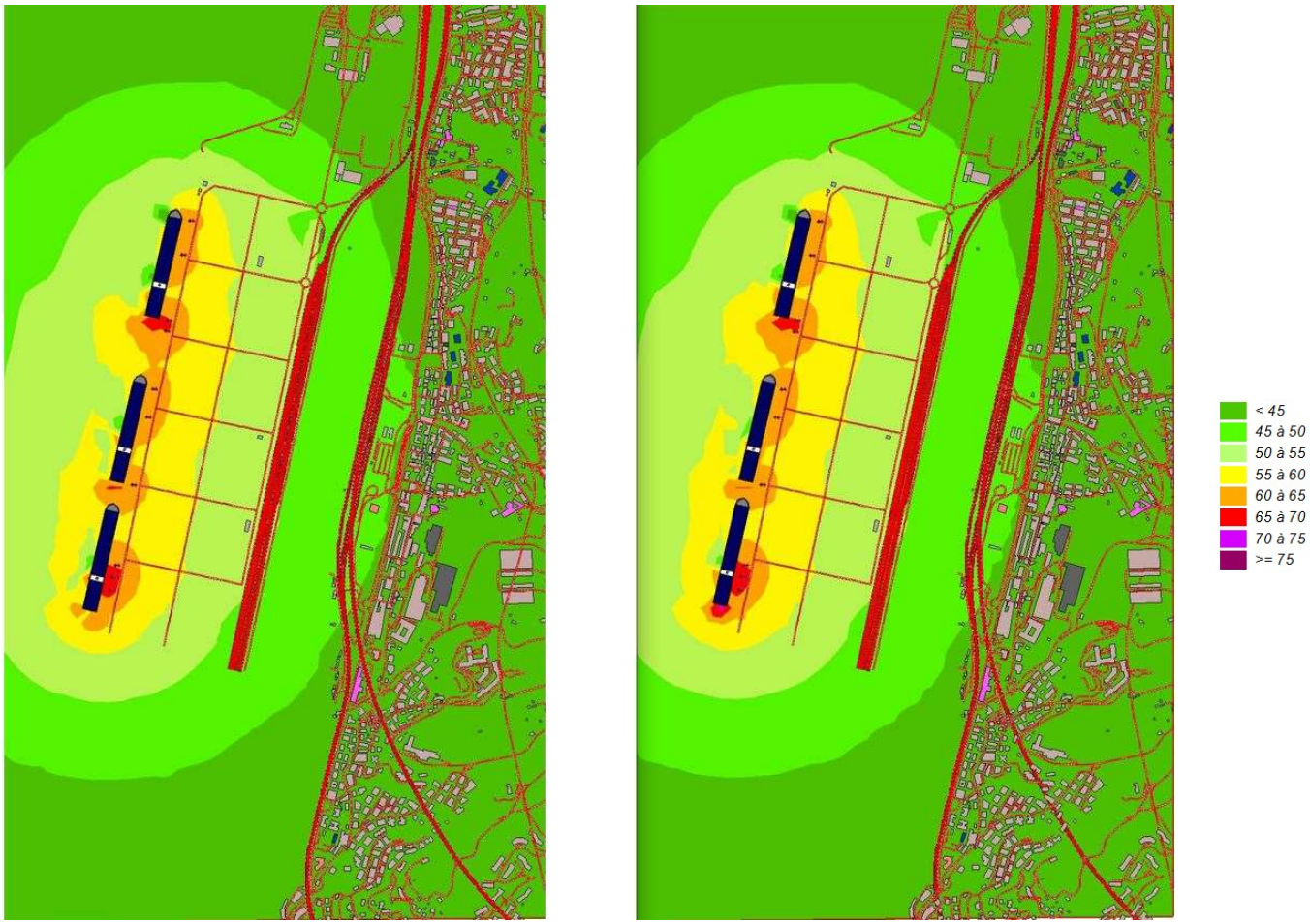
a) b)

Figura 10: Mappe del rumore fatta ad un'altezza di 4m a 200 Hz, a sinistra è la mappa senza duna (a), a destra quella con la duna (b).



a) b)

Figura 11: Mappe del rumore fatta ad un'altezza di 15m a 50 Hz, a sinistra è la mappa senza duna (a), a destra quella con la duna (b).



a) b)

Figura 12: Mappe del rumore fatta ad un'altezza di 15m a 200 Hz, a sinistra è la mappa senza duna (a), a destra quella con la duna (b).

Allo scopo di meglio evidenziare gli effetti di schermo sonoro prodotti dalla duna si è deciso di riportare le mappe acustiche per i terzi di banda di ottava di 50 Hz e 200 Hz. Si sono quindi analizzate le mappe acustiche alla quota di 4 m e 15 m dal piano di campagna, corrispondenti rispettivamente al piano primo e a un piano alto dei palazzi che circondano l'area portuale. Tali bande a bassa frequenza sono state analizzate in quanto il disturbo legato alle emissioni sonore provenienti dalle navi, e specificamente dai fumaioli, è rilevante in termini di disturbo, in particolare in relazione al rumore notturno e alla propagazione a grande distanza. Questi ultimi due elementi sono estremamente significativi nel determinare l'impatto sonoro sulla popolazione residente nei pressi del porto, in quanto

Figura 9 si riferisce alla frequenza di 50 Hz e ad un'altezza di 4m dal piano di campagna. Figura 9(a) si riferisce al campo sonoro senza duna; Figura 9(b)si riferisce al campo sonoro in presenza della duna.

Figura 10 si riferisce alla frequenza di 200 Hz e ad un'altezza di 4m dal piano di campagna. Figura 10(a) si riferisce al campo sonoro senza duna; Figura 10(b)si riferisce al campo sonoro in presenza della duna.

Figura 11 si riferisce alla frequenza di 50 Hz e ad un'altezza di 15m dal piano di campagna. Figura 11(a) si riferisce al campo sonoro senza duna; Figura11(b)si riferisce al campo sonoro in presenza della duna.

Figura 12 si riferisce alla frequenza di 200 Hz e ad un'altezza di 15m dal piano di campagna. Figura 12(a) si riferisce al campo sonoro senza duna; Figura 12(b)si riferisce al campo sonoro in presenza della duna.

I risultati ottenuti indicano che l'effetto della duna alle basse frequenze è apprezzabile solo nelle sue immediate vicinanze, mentre risulta molto ridotta per posizioni più lontane, sia per la quota inferiore (4m) corrispondente al primo piano, sia per la quota superiore (15 m) corrispondete al piano altro di un edificio.

L'osservazione condotta permette di definire i limiti della soluzione costituita dalla duna in termini di riduzione dell'impatto acustico. Essa risulta certamente efficace, ma non risolutiva nei termini di una marcata riduzione dell'impatto sonoro del porto. La sua giustificazione in termini di rapporto costi-benefici deriva dalla combinazione del miglioramento del clima acustico nell'area ricreativa della Fascia di Rispetto e dell'indubbio vantaggio in termini paesaggistici e visivi.

Analisi spettrale sui ricettori posti sui primi edifici

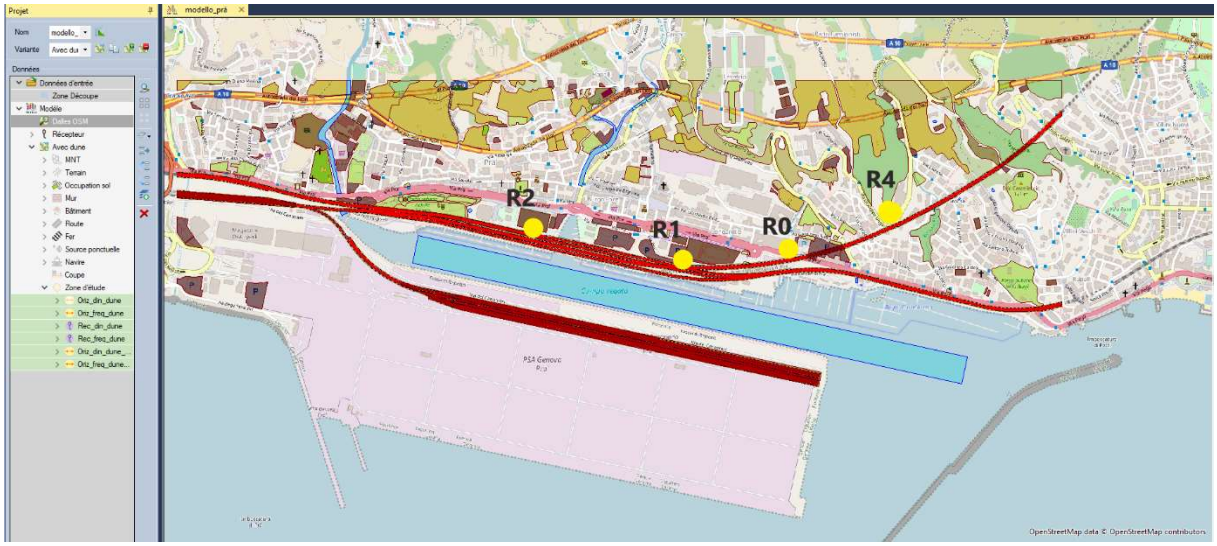


Figura 13: Posizione ricettori sui primi edifici che si affacciano sul porto

Figura 13 mostra la posizione di alcuni ricettori posti sui primi edifici che si affacciano sul porto. I dati ricavati dai vari ricettori sono stati analizzati per capire quale è l'effetto di schermo della duna. Di seguito sono presentatile tabelle del rumore spettrale ad ogni frequenza e per ogni ricettore.

Tabella 24: Calcolo ricettore R0 – Genova Prà

Ricettore R0						
Freq (Hz)	**Piano Terra**		**Piano 1**		**Piano 2**	
	Senza duna	**Con duna**	**Senza duna**	**Con duna**	**Senza duna**	**Con duna**

50	42,7	**42,7**	45,3	**45,5**	47,7	**47,7**
63	38,2	**38,3**	41,2	**41,4**	43,9	**43,9**
80	33,9	**34,1**	37,3	**37,5**	40,4	**40,3**
100	39,9	**40,4**	44,1	**44,3**	47,2	**47,0**
125	33,2	**36,9**	41,0	**41,2**	44,3	**44,1**
160	33,3	**33,9**	38,4	**38,5**	41,5	**41,4**
200	36,4	**37,8**	42,0	**42,6**	45,5	**45,5**
250	33,3	**34,9**	39,8	**40,3**	43,3	**43,2**
315	30,1	**32,2**	37,9	**38,3**	41,1	**40,9**
400	27,7	**30,2**	36,8	**36,9**	39,7	**39,4**
500	25,6	**28,7**	36,2	**36,0**	38,5	**38,0**
630	23,0	**26,5**	34,5	**34,2**	36,8	**36,3**
800	22,3	**26,2**	34,9	**34,3**	36,7	**35,8**
1000	20,9	**25,3**	34,3	**33,6**	35,9	**34,8**
1250	18,3	**23,0**	32,3	**31,6**	34,0	**32,9**
1600	13,7	**18,4**	28,1	**27,1**	29,4	**27,9**
2000	8,9	**13,8**	24,1	**23,2**	25,5	**24,2**
2500	3,5	**8,1**	19,7	**19,0**	21,2	**20,0**
3150	-3,3	**1,3**	13,5	**12,2**	14,9	**13,1**
4000	-12,5	**-8,3**	5,3	**3,7**	6,8	**4,6**
5000	-22,9	**-20,1**	-4,5	**-7,5**	-3,1	**-6,6**
6300	-60,2	**-56,3**	-39,5	**-39,1**	-38,2	**-38,3**
8000	-89,9	**-87,8**	-69,1	**-69,1**	-67,6	**-67,7**
Totale	33,3	**35,7**	42,8	**42,5**	45,2	**44,6**

Tabella 25: Calcolo ricettori R1, R2, R4 – Genova Prà

Ricettori R						
Freq (Hz)	**Ricettore R1**		**Ricettore R2**		**Ricettore R4**	
	Senza duna	**Con duna**	**Senza duna**	**Con duna**	**Senza duna**	**Con duna**
50	48,8	**48,5**	49,1	**49,0**	-99,0	**-99,0**
63	45,7	**45,1**	45,0	**45,0**	-99,0	**-99,0**
80	42,0	**41,4**	41,3	**41,2**	-99,0	**-99,0**
100	48,5	**47,8**	47,9	**47,7**	27,1	**26,3**
125	45,5	**44,7**	44,9	**44,7**	25,0	**24,2**
160	42,9	**42,0**	42,3	**42,0**	24,2	**23,3**
200	46,5	**45,9**	46,1	**45,9**	24,5	**23,6**
250	44,3	**43,7**	43,9	**43,7**	23.9	**23,0**
315	42,3	**41,5**	42,0	**41,5**	24,6	**23,7**
400	41,0	**40,1**	40,7	**40,1**	24,5	**23,6**
500	40,3	**38,9**	39,9	**39,0**	25,5	**23,0**
630	38,7	**37,3**	38,3	**37,3**	23,9	**24,4**
800	39,0	**37,0**	38,5	**37,1**	25,3	**24,0**
1000	38,4	**36,2**	37,8	**36,2**	24,9	**24,0**
1250	36,4	**34,3**	35,9	**34,4**	22,6	**21,6**
1600	32,3	**29,6**	31,9	**29,7**	18,8	**17,9**
2000	28,4	**25,9**	27,9	**26,1**	13,7	**12,7**
2500	24,1	**21,9**	23,7	**22,1**	7,7	**6,6**
3150	18,4	**15,4**	18,1	**15,8**	1,1	**-0,1**
4000	11,0	**7,6**	10,8	**8,2**	-9,4	**-10,9**
5000	02,9	**-2,6**	2,6	**-1,7**	-21,8	**-23,9**
6300	-32,6	**-32,7**	-31,8	**-31,8**	-99	**-99,0**
8000	-59,3	**-59,4**	-57,9	**-57,9**	-99	**-99,0**
Totale	47,0	**45,6**	46,5	**45,6**	31,8	**30,9**

Si vede dalle precedenti Tabelle che l'effetto della duna è limitato nelle zone abitative che sorgono a una certa distanza dall'area portuale.In effetti, si nota una riduzione del rumore che varia fortemente in funzione della posizione del ricettore, in un range che varia tra **0,3 e 2,4 dBA**.In particolare, si può notare come la riduzione di rumore dipenda anche dalla frequenza, con variazioni tra la situazione ante e post operam che è significativa per le aree prossime al porto e per le quoteinferiori, mentre diviene molto piccola nel caso di ricettori posti in vista alle sorgenti portuali. In quest'ultimo caso, com'era d'altra parte prevedibile, l'effetto di schermo sonoro della duna è minimo.
In conclusione, la duna appare capace di ridurre i livelli sonori per la zona della Fascia di Rispetto, garantendo ai cittadini che godono di tale area ricreativa un migliore clima acustico e una minore interferenza del porto rispetto alle attività sportive, ludiche o di relax. L'effetto è meno significativo per le aree urbane edificate: si osserva comunque una riduzione dei livelli sonori per i piani bassi degli edifici più prossimi al porto, mentre per le aree urbane collinari e per gli ultimi piani dei palazzi l'attenuazione del rumore è certamente limitata.

Rimane comunque un duplice effetto positivo del manufatto: scherma visivamente il porto rispetto alla zona abitata, con un effetto di separazione fisica; riduce il livello di rumore nell'area della fascia di rispetto, garantendo una migliore fruizione della stessa da parte dei cittadini.

Analisi critica dei risultati

I risultati sopra presentati vanno analizzati tenendo conto delle condizioni imposte per la simulazione e della precisione dei dati di ingresso.Quindi si potrebbero, in base alla accuratezza delle stime condotte, sottovalutare o sopravvalutare i risultati reali.Non va dimenticato che le simulazioni sono state condotte definendo come sorgenti tre navi ormeggiate in banchina, senza tenere conto del rumore associato alle relative operazioni i carico e scarico e della movimentazione delle merci sui piazzali. Quindi rispetto a una condizione semplificata, che tiene d'altra parte conto delle attuali possibilità di modellizzazione del rumore portuale. Si è quindi cercato di considerare nel modo più efficace possibile i diversi elementi di input che influenzano l'accuratezza del calcolo.

In un ulteriore sviluppo della modellizzazione occorrerebbe tenere conto di:

- ✓ dati meteorologici che influenzano la propagazione del suono
- ✓ dati esatti di traffico stradale nel porto, soprattutto mezzi pesanti che trasportano container (numero e velocità)
- ✓ dati sul traffico ferroviario nel porto (numero e velocità)
- ✓ caratterizzazione in termini di potenza sonora delle gru, dei mezzi pensanti, dei treni, delle navi
- ✓ ubicazione esatta dei cantieri presenti nel porto e la relativa potenza acustica emessa
- ✓ altezza delle gru

Le stime condotte, per quanto semplificate, appaiono comunque significative e capaci di guidare le scelte di pianificazione e sviluppo del porto, offrendo un riferimento significativo e consistente alle scelte dei decisori.

VII. Conclusioni

Dal confronto tra le misure di rumore condotte nello stato Ante Operam e Post Operam per i porti oggetto degli interventi di mitigazione analizzati si osserva quanto segue:

- La stesura di un manto di asfalto fonoassorbente sulla superficie dei piazzali prossimi ai porti o lungo le strade di collegamento tra porto e area urbana conduce ad una sensibile riduzione del rumore associato al transito dei veicoli stradali provenienti o diretti ai porti

- Tale risultato appare molto significativo per quelle realtà portuali in cui il rumore è associato al traffico generato dal porto. Ricadono in questa categoria i porti in cui è prevalente il traffico passeggeri o la movimentazione delle merci mediante veicoli su gomma imbarcati a bordo delle navi

- Questa soluzione agisce in modo particolarmente efficace quando il porto è a immediato contatto con le aree urbane abitate, come nel caso dei porti turistici di Portoferraio e Ile Rousse. In questo caso il rumore prodotto dalle attività portuali è dovuto principalmente ai veicoli, mentre il contributo diretto delle imbarcazioni è meno significativo. Pertanto il beneficio è relativamente meggiore

- L'adozione di asfalti fonoassorbenti per i piazzali di imbarco/sbarco si sposa in modo molto efficace con l'uso di materiale viscoelastico nelle zone di appoggio dei portelloni. Quest'ultimo intervento è stato analizzato nel progetto INTERREG Marittimo Italia Francia DECIBEL e ha dato risultati molto promettenti nel ridurre il rumore impulsivo prodotto dai veicoli su gomma durante le fasi di imbarco e sbarco dalle navi.

- Nel caso di grandi porti commerciali è altresì efficace l'adozione di schermi sonori tra il porto e l'area urbana prossima. E' il caso di una duna in terra, ricoperta da vegetazione arborea e arbustiva, che circonda la zona destinata al deposito e alla movimentazione dei container nel porto di Genova Pra'.

- Il beneficio acustico risulta significativo solo per la zona prossima al manufatto, mentre è limitato per le aree più lontane, soprattutto collinari, e per gli ultimi piani degli edifici che prospettano il porto.

- Un elemento limitante è costituito dal ridotto effetto della barriera naturale in terra alle basse frequenze. Tali frequenze sono le più impattanti sia in termini di propagazione a grande distanza, sia in termini di emissioni provenienti dai fumaioli delle navi

- Va considerato, in una valutazione in termini di costi-benefici, il miglioramento di natura estetica e paesistica che il manufatto porta. La duna è innanzitutto uno schermo visivo, che separa la zona

destinata alle attività industriali del porto dalle aree ricreazionali e sportive. Questo elemento, combinato con un beneficio in termini di clima acustico, permette una migliore fruizione da parte dei cittadini del parco urbano “Fascia di Rispetto” e della Marina di Prà, rendendo certamente più sostenibile la convivenza tra porto e città.