COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

ALTA SORVEGLIANZA:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

GENERAL CONTRACTOR:

LEGGE N. 55 DEL 14/06/2019
TRATTA A.V. / A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI

COLLEGAMENTO PARCO RUGNA/BETTOLO – BIVIO FEGINO VIA CAMPASSO
TRATTA BIVIO FEGINO – EX BIVIO S. LIMBANIA
PROGETTO DEFINITIVO

AREA 2
Studio preliminare ambientale
Relazione - Approfondimento sulle componenti rumore e vibrazioni

GENERAL CONTRACTOR	ITALFERR	
Consorzio **Cociv**		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
N G 1 H	0 2	D	C V	R O	I M 0 0 0 0	0 0 5	B

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	PRIMA EMISSIONE	Al Eng. Lorenzo Morra	26/11/2020	P. Costamedich	26/11/20	A. Mancarella	26/11//20	
B00	Revisione post nota Prot. PG/2021/S782	Al Eng. Lorenzo Morra	09/02/21	P. Costamedich	09/02/21	A. Mancarella	09/02/21	Dott. Ing. Lorenzo Morra Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6230 S

	n. Elab.:	File: NG1H-02-D-CV-RO-IM00-00-005-B00

CUP: F81H92000000008

INDICE

1. PREMESSA 3

2. IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI ESERCIZIO 3

3. IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI CANTIERE 7

3.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 7
3.2. ANALISI DEL SISTEMA INSEDIATIVO 7
3.3. LIMITI DI RIFERIMENTO 7
3.4. CARATTERIZZAZIONE DEL CLIMA ACUSTICO ANTE OPERAM 9
3.5. STIMA DEL RUMORE INDOTTO DALL'IMPIANTO DI BETONAGGIO 12
3.5.1. Modello previsionale 12
3.5.2. Dati di input del modello 14
3.5.3. Calcolo dei livelli di impatto 16
3.5.4. Gestione del cantiere 20

4. VIBRAZIONI 20

4.1. MODELLO PREVISIONALE 20
4.2. CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE 21
4.3. LA VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI INDOTTE IN FASE DI ESERCIZIO 23

5. INTERVENTI DI MITIGAZIONE 26

1. PREMESSA

In relazione alle valutazioni fatte in merito alla significatività degli effetti nello Studio preliminare ambientale, di seguito si riportano gli approfondimenti relativi agli aspetti che risultano essere meritevoli di maggior attenzione rispetto alla tipologia di opera da realizzare.

Ci si riferisce in particolare a:

- Impatto acustico in fase di esercizio;
- Impatto acustico in fase di cantiere;
- Vibrazioni in fase di esercizio.

2. IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI ESERCIZIO

Data l'articolazione della tematica acustica relativamente alla fase di esercizio, si è provveduto ad elaborare uno studio specifico.

Gli elaborati costituenti lo studio sono riportati nel seguito.

CODIFICA								SCALA	TITOLO
NG1H-02-D-CV	P5	IM	00	0	0	001	A01	1:5000	Planimetria dei limiti applicabili - tav 1 di 2
NG1H-02-D-CV	P5	IM	00	0	0	002	A01	1:5000	Planimetria dei limiti applicabili - tav 2 di 2
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	001	A01	1:2500	Planimetria di censimento dei ricettori - tav 1 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	002	A01	1:2500	Planimetria di censimento dei ricettori - tav 2 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	003	A01	1:2500	Planimetria di censimento dei ricettori - tav 3 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	004	A01	1:2500	Planimetria di censimento dei ricettori - tav 4 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	005	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico ante mitigazione - livello di rumore periodo diurno - tav 1 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	006	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico ante mitigazione - livello di rumore periodo diurno - tav 2 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	007	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico ante mitigazione - livello di rumore periodo diurno - tav 3 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	008	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico ante mitigazione - livello di rumore periodo diurno - tav 4 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	009	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico ante mitigazione - livello di rumore periodo notturno - tav 1 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	010	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico ante mitigazione - livello di rumore periodo notturno - tav 2 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	011	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico ante mitigazione - livello di rumore periodo notturno - tav 3 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	012	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico ante mitigazione - livello di rumore periodo notturno - tav 4 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	013	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico post mitigazione - livello di rumore periodo diurno - tav 1 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	014	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico post mitigazione - livello di rumore periodo diurno - tav 2 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	015	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico post mitigazione - livello di rumore periodo diurno - tav 3 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	016	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico post mitigazione - livello di rumore periodo diurno - tav 4 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	017	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico post mitigazione - livello di rumore periodo notturno - tav 1 di 4

CODIFICA								SCALA	TITOLO
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	018	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico post mitigazione - livello di rumore periodo notturno - tav 2 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	019	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico post mitigazione - livello di rumore periodo notturno - tav 3 di 4
NG1H-02-D-CV	PZ	IM	00	0	0	020	A01	1:2500	Planimetria di impatto acustico post mitigazione - livello di rumore periodo notturno - tav 4 di 4
NG1H-02-D-CV	C4	IM	00	0	0	001	A01	1:10000	Corografia
NG1H-02-D-CV	TT	IM	00	0	0	001	A01	-	Tabella di output del modello acustico
NG1H-02-D-CV	SH	IM	00	0	0	001	A01	-	Schede dei ricettori
NG1H-02-D-CV	RO	IM	00	0	0	001	A01	-	Relazione tecnica

La simulazione modellistica ha consentito di poter definire le necessità mitigative in termini di estensione e altezza delle barriere che sono poi state sviluppate in termini tecnico/progettuali.

La Nota Prot. PG/2021/S782 della Regione Liguria riporta le seguenti osservazioni:

Le analisi svolte in relazione a questa componente non sono esaustive per la fase di esercizio, in particolare si ritiene che gli esiti delle valutazioni effettuate possa portare a trascurare situazioni di disturbo in quanto l'ipotesi assunta sul fonoisolamento ante operam potrebbe in realtà non essere sempre verificata, si chiedono pertanto i seguenti approfondimenti:

> *a. sia fornita una più approfondita giustificazione delle scelte operate (per la mitigazione dell'impatto acustico sui recettori) o verificare l'effettiva impossibilità a ricondurre a conformità i livelli in facciata con metodi tecnicamente ed economicamente fattibili (per esempio con eventuali altre scelte di barriera);*
>
> *b. una volta eventualmente ridefinito l'insieme di recettori per i quali continua a sussistere un superamento in facciata, l'analisi in sito, anche a livello preliminare, andrebbe eseguita per l'intero insieme così determinato.*

Di seguito si riportano le controdeduzioni alle osservazioni ricevute.

Il DPR 459/98 evidenzia che qualora, in base a considerazioni tecniche, economiche o di carattere ambientale, il raggiungimento dei limiti individuati non sia conseguibile con interventi sull'infrastruttura, si deve procedere con interventi diretti sui ricettori.

In questo caso, all'interno dei fabbricati, dovranno essere ottenuti i seguenti livelli sonori interni:

- 35 dB(A) di Leq nel periodo notturno per ospedali, case di cura, e case di riposo;
- 40 dB(A) di Leq nel periodo notturno per tutti gli altri ricettori;
- 45 dB(A) di Leq nel periodo diurno per le scuole.

I valori sopra indicati dovranno essere misurati al centro della stanza a finestre chiuse a 1,5 m di altezza sul pavimento.

Nonostante l'inserimento delle barriere antirumore risulta, come evidenziato nello Studio Acustico per la fase di esercizio un esubero rispetto ai limiti per n. 386 ricettori.

Per una prima stima dei ricettori potenzialmente impattati è stata *cautelativamente* attribuita agli infissi una classe di tipo R1 ovvero una classe di fonoisolamento del serramento compreso tra i 20 e i 27 dB con una media di potere fonoisolante pari a 25 dB.

Pertanto per valutare il numero degli edifici su cui sarà necessario probabilmente necessario intervenire direttamente sugli stessi, il valore presunto del potere fonoisolante dei serramenti di 25 dB è stato sottratto al valore stimato in facciata in periodo notturno.

Da questa analisi preliminare gli edifici su cui vi è il superamento interno dei 40 dBA nel periodo notturno, con destinazione d'uso residenziale, per almeno un piano, si riducono a n. 89 e sono di seguito individuati:

Tabella 1 – Riepilogo edifici che necessitano di intervento diretto

45	180	745	918	1076	1314
46	181	746	982	1078	1321
73	223	747	983	1080	1322
74	309	777	984	1081	1325
104	330	797	997	1091	1326
105	331	805	1006	1129	1327
107	503	807	1007	1130	1331
137	504	809	1008	1132	1372
138	581	811	1005	1143	1391
141	589	813	1252	1144	1394
143	646	879	1254	1175	1398
147	648	881	1256	1176	1317
177	649	899	1242	1257	1362
178	740	911	1066	1258	643
179	741	912	1075	1300	

Per questi ricettori è stato effettuato un approfondimento ulteriore tenendo conto che come già esplicitato precedentemente l'altezza delle barriere è stata valutata sia in funzione del tessuto urbano circostante, dell'impatto visivo e dell'effettiva efficacia acustica per la globalità dell'intervento.

La performance di ciascuna barriera è stata valutata mediante software di modellizzazione acustica Soundplan 8.2.

Di seguito, a titolo esemplificativo si riporta, per il ricettore 807 a nord di Campasso, la mappa delle isofoniche in sezione, per il periodo notturno, con la barriera alta 6,5 metri come da Relazione Tecnica dello studio acustico e la mappa delle isofoniche in sezione con una barriera di altezza superiore (8 metri).

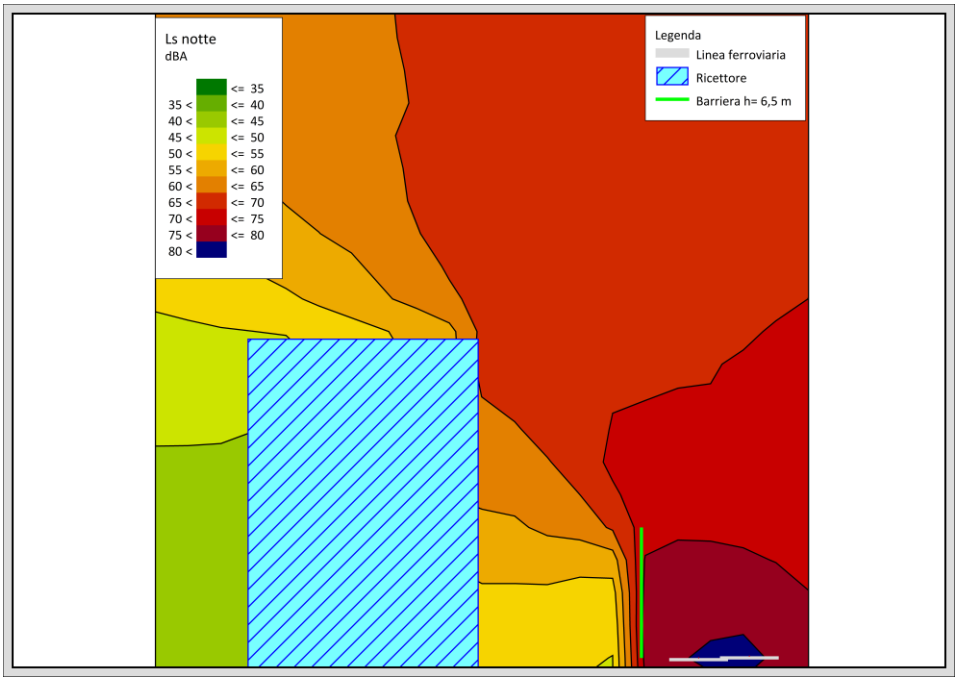


Figura 1 – Mappa delle isofoniche in sezione periodo notturno, ricettore 807, altezza barriera 6.5 m

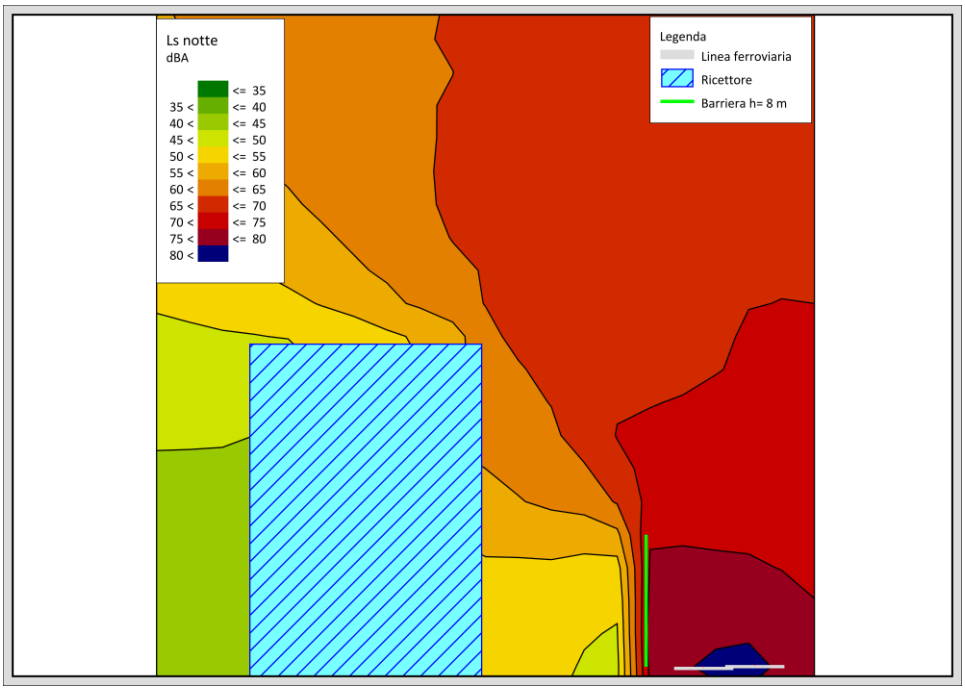


Figura 2 – Mappa delle isofoniche in sezione periodo notturno, ricettore 807, altezza barriera 8 m

La barriera di altezza superiore, oltre a non essere tecnicamente realizzabile nel contesto di riferimento, non elimina l'esubero evidenziato.

Tale verifica è stata effettuata per tutti i ricettori riportati in Tabella 1.

Dalla ricognizione diretta in sito e riportata nell'elaborato **NG1H-02-D-CV-SH-IM00-00-001-A01** si conferma per gli edifici riportati in Tabella 1 un potere fonoisolante degli infissi almeno pari a 25 dB o superiore (non si evidenziano classi di serramenti più scadenti o con performance inferiori) ribadendo la necessità di interventi diretti sui ricettori individuati.

Tale necessità sarà comunque confermata a seguito delle verifiche strumentali che saranno avviate in una fase di progettazione successiva.

3. IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI CANTIERE

Di seguito è riportata la valutazione dell'impatto acustico della fase di cantiere con particolare riferimento alle emissioni prodotte dall'impianto di betonaggio che è previsto nell'ambito del cantiere armamento.

3.1. Normativa di riferimento

Le principali normative nazionali che regolamentano le immissioni di rumore sono elencate nel seguito:

- D.P.C.M. 1° marzo 1991
- L. 447 del 26 Ottobre 1995
- D.P.C.M. 14 Novembre 1997
- Decreto 16 Marzo 1998
- D.P.R. 142/2004
- D.P.R. 459/98
- DM 29/11/2000 "Decreto per la predisposizione degli interventi antirumore da parte dei gestori delle infrastrutture"

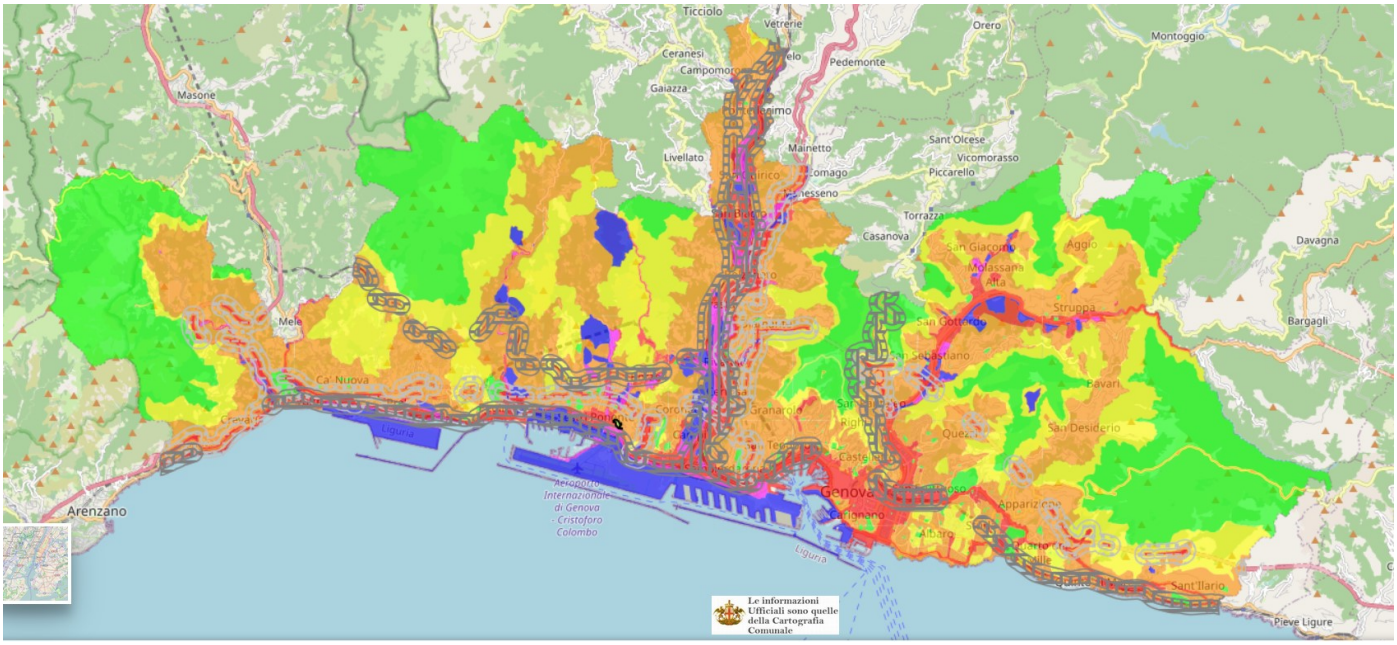
3.2. Analisi del sistema insediativo

L'area di impianto è localizzata presso l'area sottostante il nuovo Viadotto San Giorgio dell'autostrada A10.

Nell'area di influenza acustica dell'impianto sono presenti ricettori residenziali, produttivi e terziari risalenti a periodi diversi.

3.3. Limiti di riferimento

Il Comune di Genova ha approvato con Deliberazione n° 234 del 24 aprile 2002 la Classificazione Acustica del territorio comunale che suddivide il Territorio in 6 classi omogenee all'interno delle quali sono definiti i valori limite assoluti e differenziali delle sorgenti sonore presenti.



CLASSI ZONIZZAZIONE ACUSTICA

CLASSE 1
aree particolarmente protette

CLASSE 2
aree ad uso prevalentemente residenziale

CLASSE 3
aree di tipo misto

CLASSE 4
aree di intensa attivita umana

CLASSE 5
aree prevalentemente industriali

CLASSE 6
aree esclusivamente industriali

FASCIA FERROVIARIA

FASCIA DI RISPETTO FERROVIARIA A
FASCIA DI RISPETTO FERROVIARIA B

FASCIA AUTOSTRADALE

FASCIA DI RISPETTO AUTOSTRADALE A
FASCIA DI RISPETTO AUTOSTRADALE B

Figura 3 – Piano di Classificazione Acustica (fonte Geoportale)

Di seguito si riporta il dettaglio dell'area interessata dall'impianto di betonaggio.

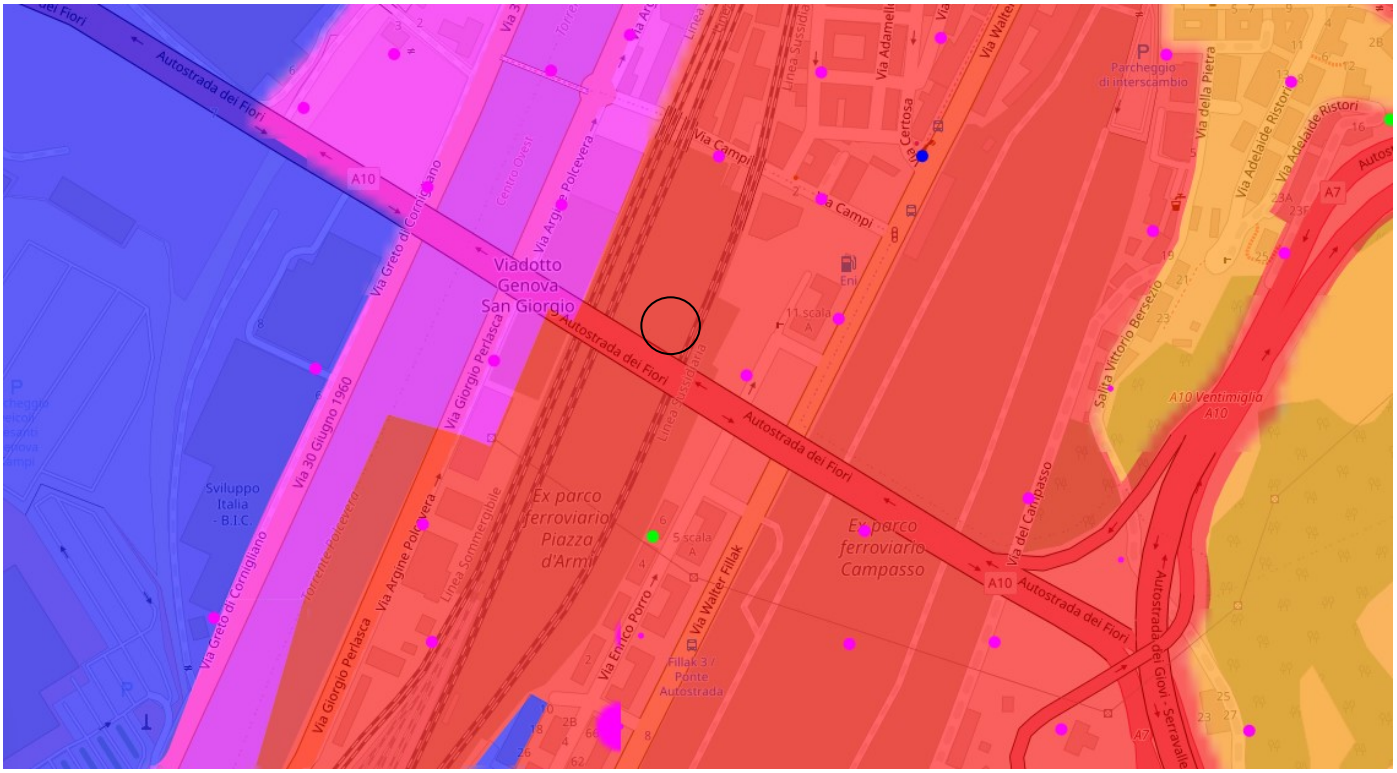


Figura 4 – Dettaglio Piano di Classificazione Acustica (fonte Geoportale) con individuazione area di impianto (in nero)

In particolare l'area interessata nell'area di influenza acustica dell'impianto di betonaggio e i ricettori circostanti sono ascritti alla classe IV (area di intensa attività umana) con limiti di immissione diurni/notturni pari a 65/55 dBA.

3.4. Caratterizzazione del clima acustico Ante Operam

La quantificazione dei livelli di rumore presenti in zona è stata effettuata mediante n. 2 misure strumentali eseguite in periodo diurno e in periodo notturno, in un punto accessibile e individuato come più critico per la presenza di abitazioni.

Nella seguente vista satellitare si localizza la postazione di misura.



Figura 5 – Localizzazione postazione di misura (in rosso)

La ricognizione diretta in zona ha permesso di accertare, al di là della percepibilità della rumorosità da traffico veicolare, che in ogni caso rappresenta una caratteristica endemica di ogni centro abitato, l'assenza di altre sorgenti di rumore.

Le misure effettuate sono in ogni caso rappresentative del livello ascrivibile all'insieme di tutte le sorgenti attualmente presenti nell'area di intervento (misura ambientale).

Le misure sono state eseguite in data 13/10/2020 con strumentazione, tecniche e condizioni climatiche conformi ai dettami del D.M. 16/03/1998 "Tecniche di rilevamento e misura dell'inquinamento acustico", utilizzando le seguenti catene di misura:

- Fonometro integratore Brüel & Kjær modello 2250, n° seriale 2754187, calibrato presso il centro LAT 213, il 12 Maggio 2020 - certificato n° S2010400SLM;
- Calibratore di livello sonoro Brüel & Kjær 4231 matr. n° 2637421 calibrato presso il centro LAT 213, il 11 Maggio 2020 - certificato n° S2010300SSR.

La catena di misura, prima e dopo i rilievi fonometrici, è stata calibrata riscontrando uno scarto inferiore allo 0,5 dB.

Nella tabella seguente si riportano i livelli sonori misurati durante i rilievi fonometrici in particolare i livelli percentili L90 (descrittori del livello residuo presente nell'area di studio) ed i livelli equivalenti (arrotondati agli 0,5 dB più prossimo come prescritto dal D.M.A. 16/3/98).

Tabella 2 – Sintesi dei valori misurati

Postazione	Durata	Data misura	Tempo di riferimento diurno (6-22)		Tempo di riferimento notturno (22-6)	
			L_{90} [dBA]	Leq [dBA]	L_{90} [dBA]	Leq [dBA]
P1	30 minuti	13/10/2020	48,9	54,0	43,4	50,0

Di seguito si riportano le time history delle misure effettuate.

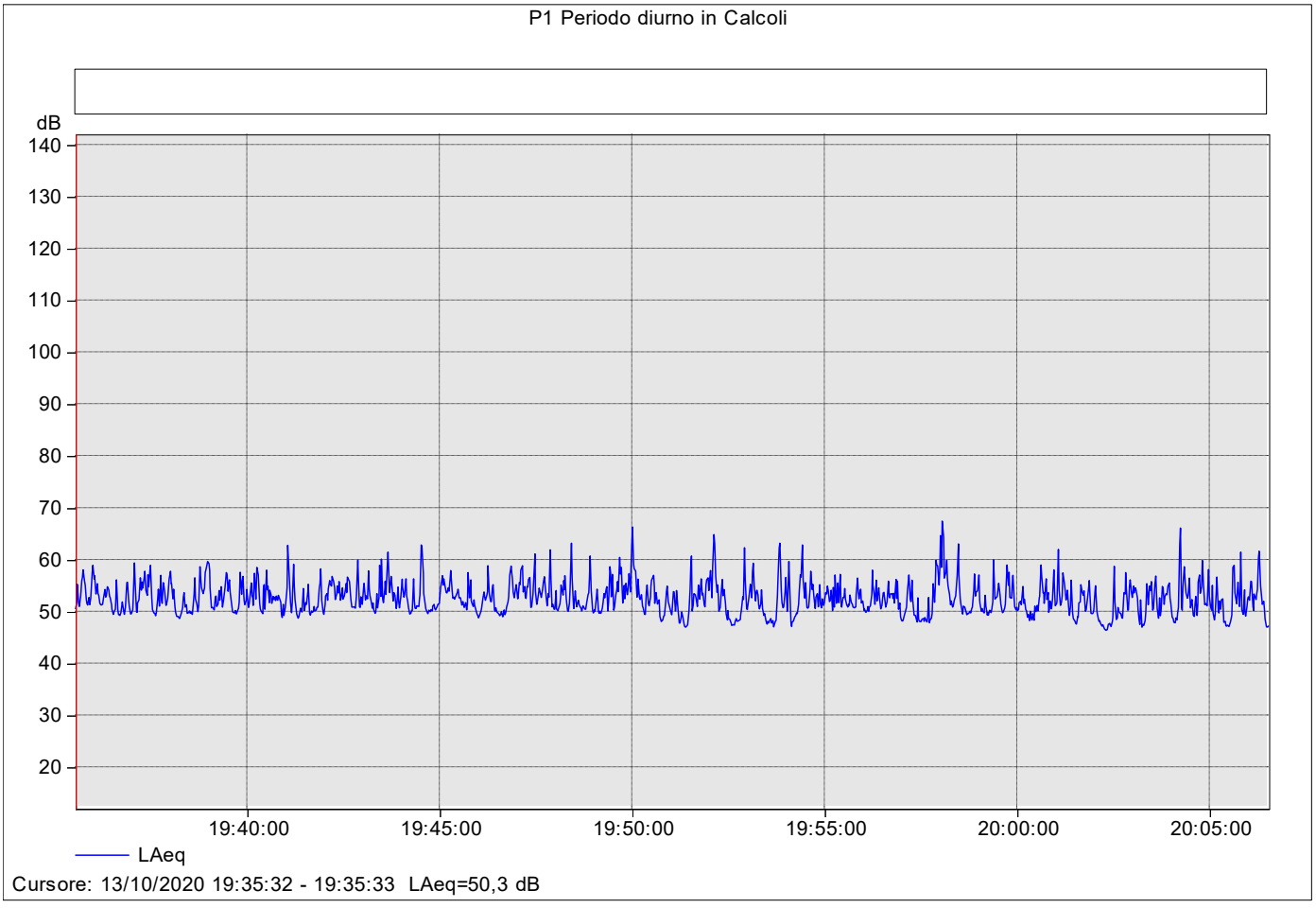


Figura 6 – Time history misura periodo diurno

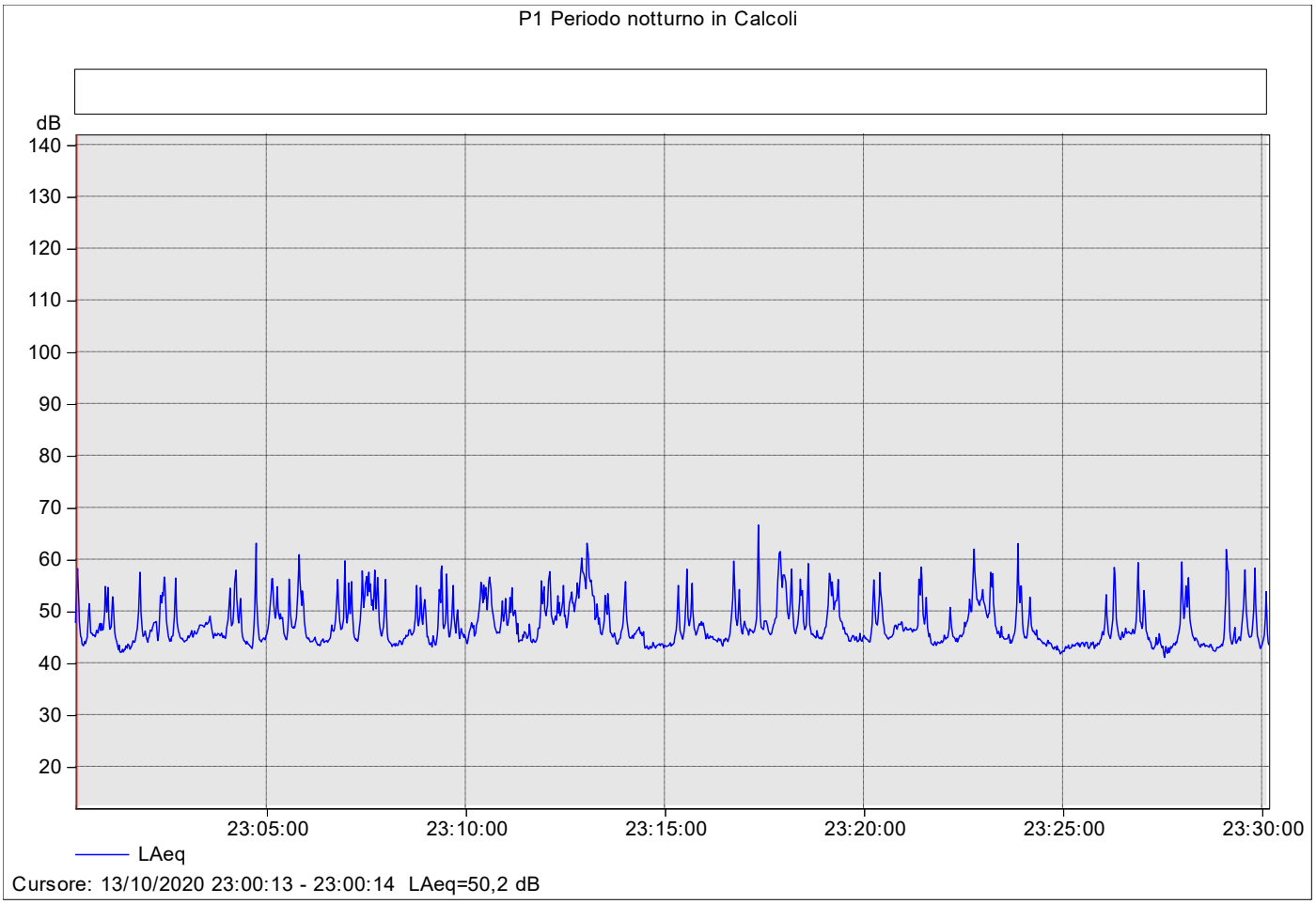


Figura 7 – Time history misura periodo notturno

I livelli misurati sono conformi ai livelli sonori previsti dal Piano di Classificazione Acustica per l'area di studio ovvero classe IV (65 dBA diurni e 55 dBA notturni).

3.5. Stima del rumore indotto dall'impianto di betonaggio

3.5.1. Modello previsionale

Il modello di calcolo previsionale utilizzato è il software SoundPLAN versione 8.2, concepito per la modellazione acustica in ambiente esterno in ambito stradale, ferroviario ed industriale.

Sviluppato da Braunstein & Berndt GmbH il codice di calcolo tiene conto di diversi fattori tra cui le tipologie delle sorgenti, le forme degli edifici, la topografia locale, gli schermi acustici, la tipologia del terreno, i parametri meteorologici.

SoundPLAN 8.2 è costituito da diversi moduli tra cui quello di base permette di importare/inserire e gestire dati geografici e dati acustici e precisamente:

Dati geografici:

- caratterizzazione orografica dell'ambiente oggetto di studio ovvero introduzione della morfologia del

terreno tramite opportune curve di isolivello e creazione del DGM - Digital Ground Model (Modello digitale del terreno) indispensabile per le fasi successive;

- definizione delle caratteristiche di assorbimento acustico del terreno in funzione della tipologia (terra, erba, asfalto, ecc);
- localizzazione e dimensionamento dei principali ostacoli alla propagazione acustica (edifici, barriere naturali, ecc.) con relativa caratterizzazione dei parametri di riflessione/assorbimento acustico.

Dati acustici:

- inserimento delle sorgenti sonore attraverso la definizione del loro livello di potenza, dello spettro in frequenza, dell'eventuale direttività e delle caratteristiche temporali di funzionamento; le sorgenti sono state classificate di tipo puntiforme o areale sulla base delle loro caratteristiche geometriche e di emissione acustica;
- definizione dei punti ricettori in corrispondenza dei quali si vuole eseguire il calcolo dei livelli di pressione sonora risultante.

Per il calcolo della propagazione acustica degli impianti industriali SoundPLAN utilizza algoritmi proposti da diverse norme internazionali, tra cui la norma ISO 9613-2 (1996) "Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation".

L'equazione di base proposta dalla norma ISO 9613-2 è la seguente:

$$L_p = L_w + DI - A \qquad [dBA]$$

dove:

- L_p = livello di pressione sonora calcolato in un punto ricettore per ogni frequenza;
- L_w = livello di potenza sonora di una sorgente;
- DI = correzione per l'eventuale direttività della sorgente sonora;
- A = attenuazione subita dal livello di pressione sonora nel percorso tra la sorgente ed il punto ricettore data dalla somma:

$$A = A_{div} + A_{air} + A_{gnd} + A_{bar}$$

dove:

- A_{div} = attenuazione dovuta alla divergenza geometrica;
- A_{air} = attenuazione causata dall'assorbimento atmosferico;
- A_{gnd} = attenuazione dovuta all'assorbimento del terreno;
- A_{bar} = attenuazione prodotta dalla presenza di barriere;

La norma ISO 9613-2 riferisce tutte le formule approssimate che danno i vari termini di attenuazione riferiti ad una situazione meteorologica base, quella “sottovento” cioè in condizioni favorevoli alla propagazione così riferita:

- velocità del vento compresa tra 1 m/s e 5 m/s, misurata ad un’altezza compresa tra 3 m e 11 m dal suolo;
- direzione del vento entro un angolo di ± 45° dalla direzione sorgente – ricevitore.

Nel caso in esame viste le variazioni meteorologiche durante un lungo periodo è stato introdotto il fattore correttivo C_{met} “correzione di tipo meteorologico legata alla situazione locale” che viene calcolato con le seguenti equazioni:

$$C_{met} = 0 \qquad se\ d_p \leq 10\ (h_S + h_r)$$

$$C_{met} = C_0\ [1 - 10(h_S + h_r)/\ d_p] \qquad se\ d_p > 10\ (h_S + h_r)$$

con:

- h_S altezza dal suolo della sorgente;
- h_r altezza dal suolo del ricevitore;
- d_p distanza in orizzontale dalla sorgente al ricevitore;
- C_0 è un fattore in dB che dipende dalle statistiche meteorologiche locali.

Il grado di precisione di un modello di calcolo previsionale è subordinato al dettaglio ed alla precisione dei dati di input inseriti.

Per quanto riguarda il calcolo previsionale oggetto della presente valutazione, si può ragionevolmente ritenere, sulla base di precedenti analoghe simulazioni, che il margine di errore sia contenuto entro ± 1,5 dB(A).

3.5.2. Dati di input del modello

I dati di rumorosità dei componenti l’impianto di betonaggio sono stati desunti da schede tecniche del produttore e da misure in impianti similari.

In particolare, per quanto riguarda l’impianto di dosaggio è stata attribuita ad ogni facciata dell’impianto una potenza sonora (così come desunta dalle schede del fornitore) pari a Lw = 92 dBA.

I valori delle potenze sonore dei veicoli da cantiere utilizzati sono estrapolati dal *Manuale Conoscere per Prevenire - La valutazione dell'inquinamento acustico prodotto dai cantieri edili, redatto dal Comitato Paritetico Territoriale per la Prevenzione Infortuni, l'Igiene e l'Ambiente di Lavoro di Torino e provincia* e sono riportati in tabella seguente.

Tabella 3 - Livelli di potenza acustica veicoli di cantiere Lw (dB)

SORGENTE	FREQUENZA [Hz]										
	31.5	**63**	**125**	**250**	**500**	**1k**	**2k**	**4k**	**8k**	**16k**	**dBA**
Autocarro (reg. medio)	107	103,8	94,4	93,9	93,8	95,3	95	87,7	82,4	74	100
Autobetoniera	97,5	100,8	91,1	92,1	94,1	92,3	91,3	88	83,2	78,5	97,8

Le altre sorgenti individuate ovvero tramogge e nastro trasportatore sono state così caratterizzate:

Lw nastro trasportatore = 90 dB

Lw tramogge = 85 dBA

Per quanto riguarda il traffico di cantiere si prevede un transito di 30 autobetoniere al giorno di cui 20 circolanti nel periodo diurno (ore 6-22) e 10 circolanti nel periodo notturno (ore 22-6).

Di seguito si riporta un'immagine tratta dal modello di simulazione con l'ubicazione delle sorgenti:

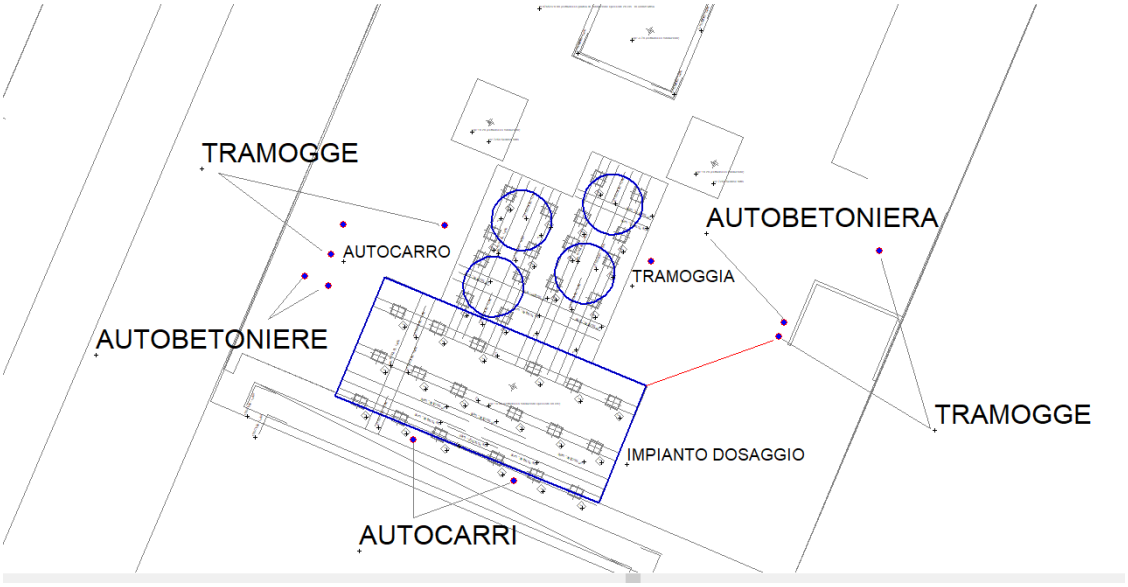


Figura 8 – Time history misura periodo notturno

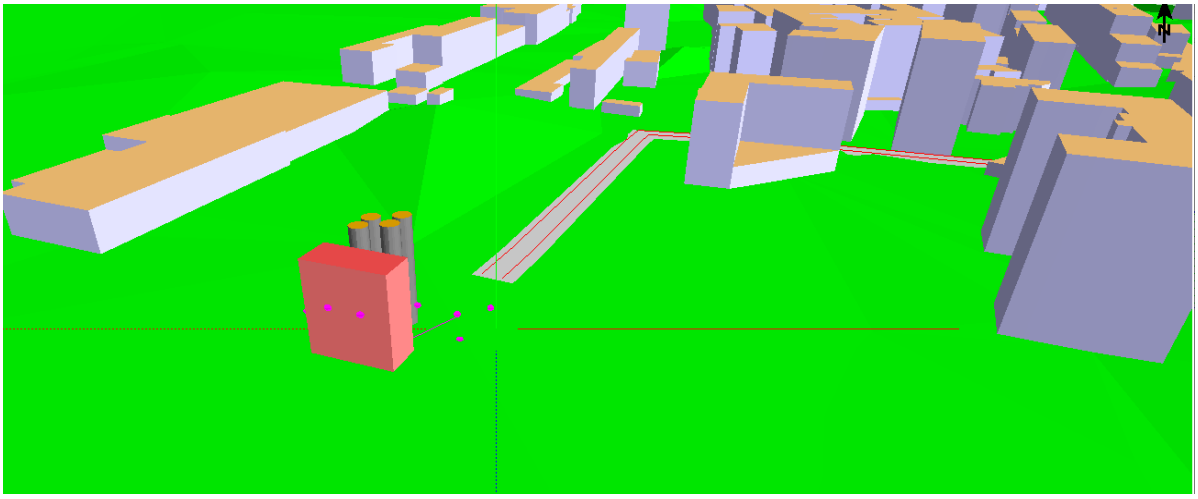


Figura 9 – 3D impianto

3.5.3. Calcolo dei livelli di impatto

Sulla base dei dati relativi al modello di esercizio e delle loro caratteristiche di emissione tramite il modello previsionale è stato calcolato il livello sonoro stimato nell'area di influenza acustica degli impianto.

Sono stati simulati due scenari:

- Giorno: impianti funzionanti al 100% e traffico di 20 autobetoniere
- Notte: impianti funzionanti al 50% e traffico di 10 autobetoniere.

Le mappe isolivello sul piano orizzontale all'altezza di 4 metri e 10 metri dal suolo per il periodo diurno e notturno sono riportate nelle figure seguenti.

Le gradazioni di colore della scala cromatica utilizzata passano dal verde scuro, per valori più bassi di 30 dBA, al blu, per valori inferiori a 80 dBA. Ogni gradazione cromatica rappresenta un intervallo di 5 dBA.

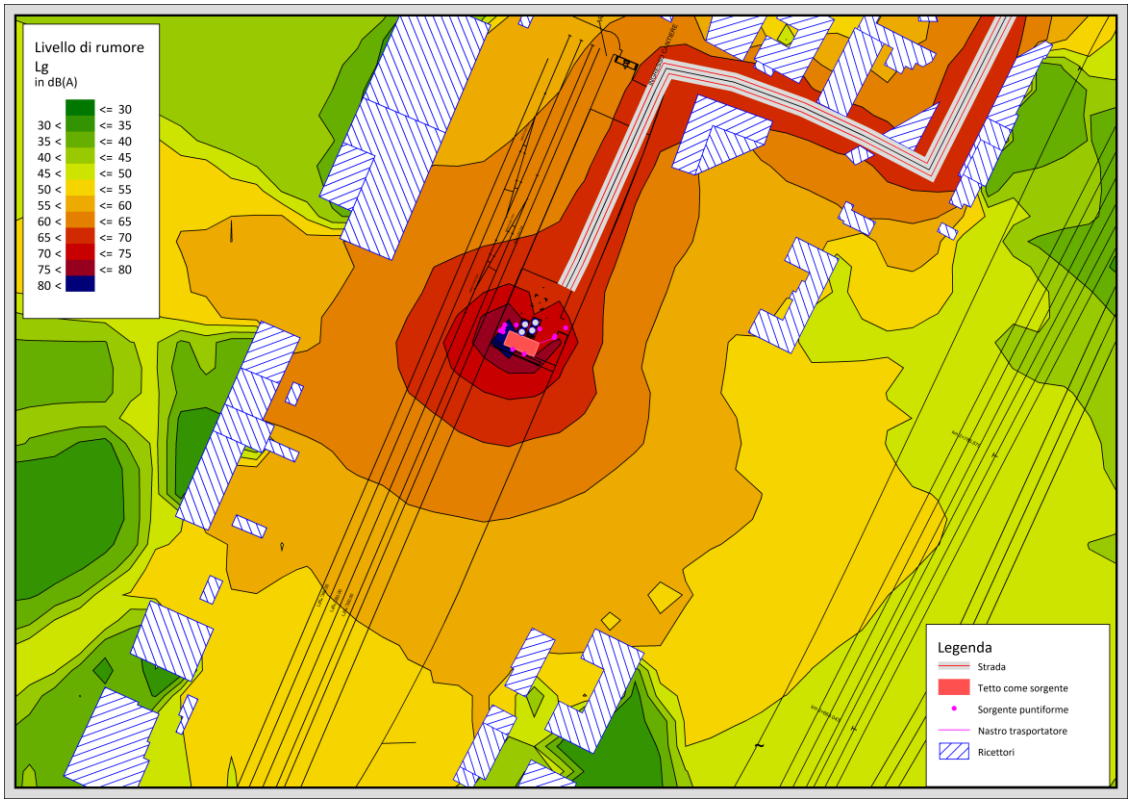


Figura 10 – Mappa isofoniche periodo diurno h= 4 metri

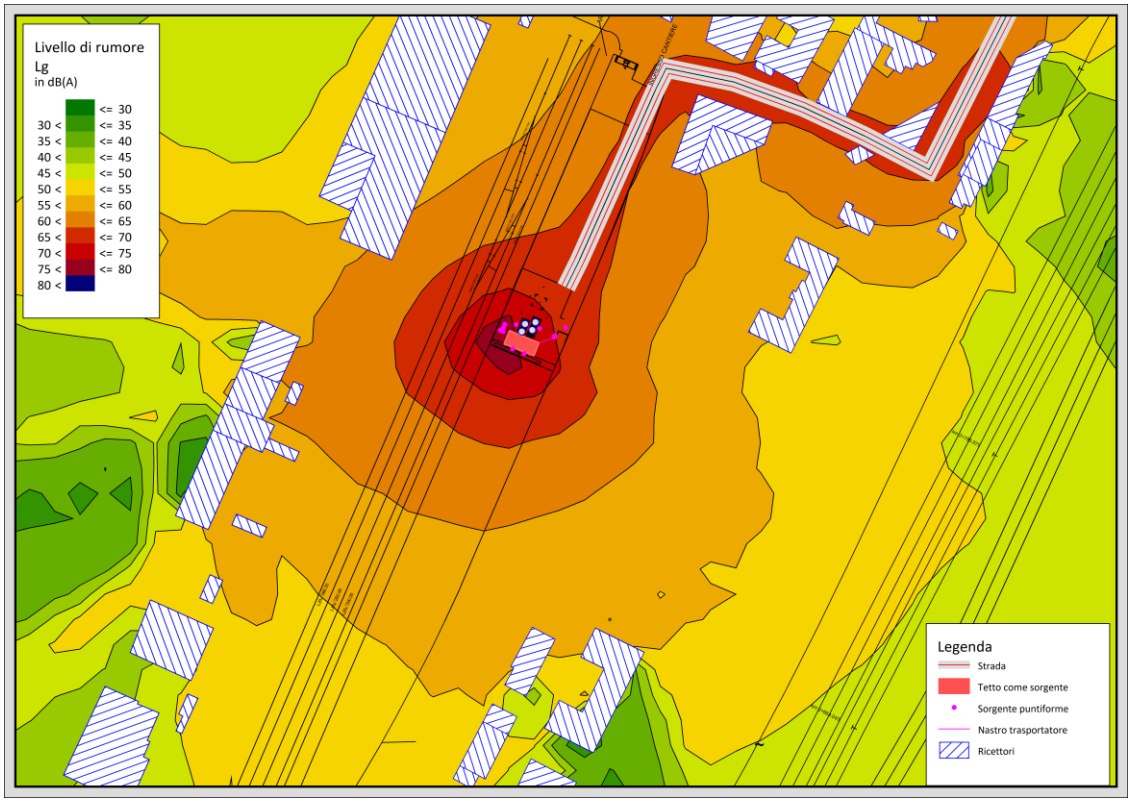


Figura 11 – Mappa isofoniche periodo diurno h= 10 metri

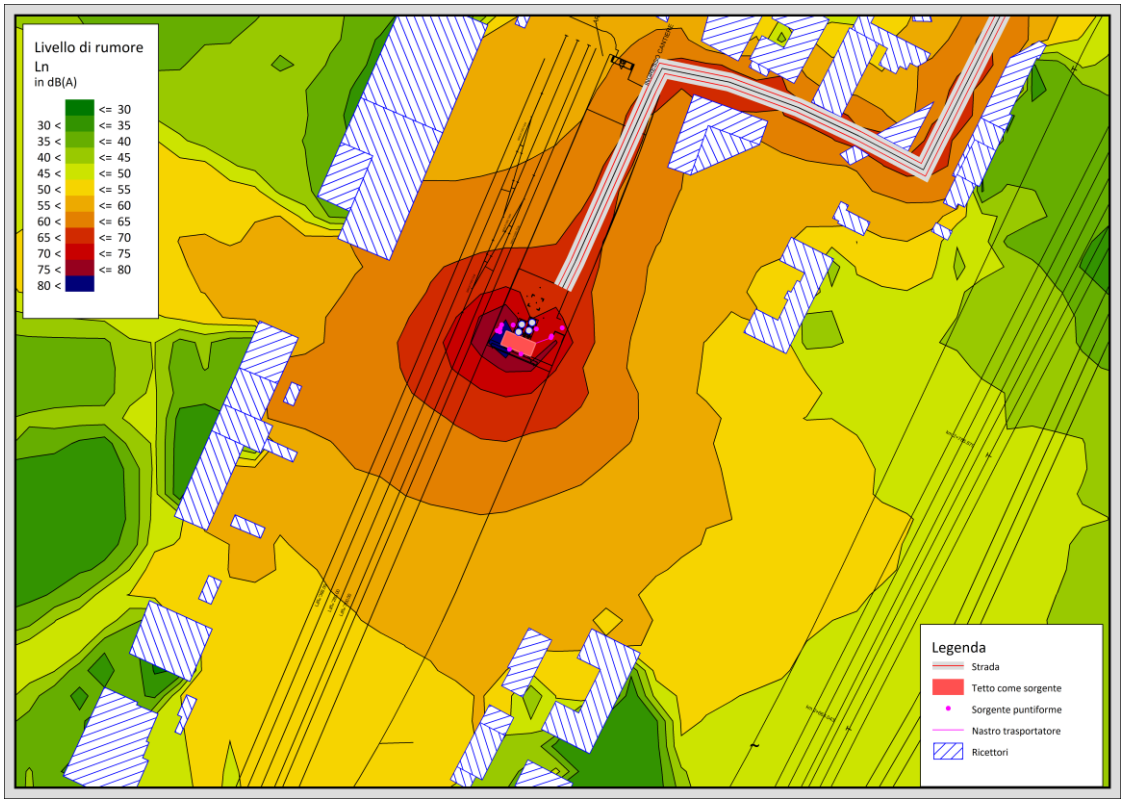


Figura 12 – Mappa isofoniche periodo notturno h= 4 metri

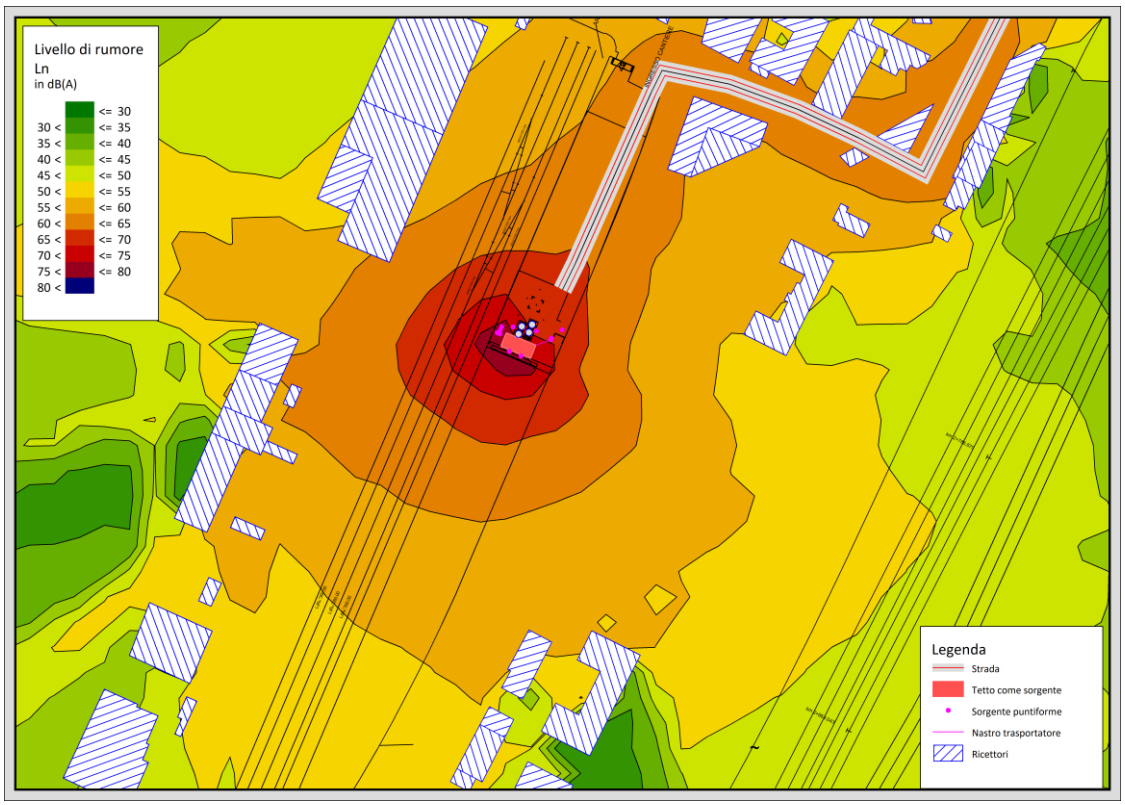


Figura 13 – Mappa isofoniche periodo notturno h= 10 metri

Come visibile dalle mappe isofoniche, l'impatto sui ricettori più esposti lungo via Campi è data dal traffico dei veicoli di cantiere (livelli pari a 65-70 dBA giorno e 60-65 dBA notte) mentre sui ricettori più distanti l'impatto è principalmente dovuto alle lavorazioni all'interno dell'area di cantiere (55-60 dBA giorno e notte).

I livelli attesi sono superiori ai valori limite previsti per la classe di riferimento ovvero classe IV con limiti pari a 65 dBA giorno e 55 dBA notte.

3.5.4. Gestione del cantiere

Visto il superamento dei limiti di immissione dovrà essere richiesta specifica autorizzazione in deroga per le attività di cantiere secondo le modalità definite dal Comune di Genova per i seguenti livelli:

- GIORNO:
  - LIMITE DI DEROGA (6-22): 70 dBA
  - LIMITE Di DEROGA (1 h): 75 dBA
- NOTTE:
  - LIMITE DI DEROGA (22-6): 65 dBA
  - LIMITE Di DEROGA (1 h): 70 dBA

Per quanto riguarda le mitigazioni si rimanda a quanto riportato nel capitolo 5.

4. VIBRAZIONI

4.1. Modello previsionale

La costruzione e l'esercizio di una linea ferroviaria sono fonte di sollecitazioni dinamiche nel terreno circostante caratterizzate da una modesta fascia di influenza, in genere inferiore ai 50 m. In questa fascia le vibrazioni possono generare disturbo alla popolazione residente o a determinate attività umane, ma risulta estremamente improbabile che esse possano causare effettivi danni alle strutture.

Il disturbo alle persone, definito in letteratura come *annoyance*, dipende dall'intensità e frequenza dell'evento disturbante e dal tipo di attività svolta. L'annoyance deriva dalla combinazione di effetti che coinvolgono la percezione uditiva e la percezione tattile delle vibrazioni. Gli effetti sulle persone sono estesi all'intero corpo e possono essere ricondotti genericamente ad un aumento dello stress, con conseguente attivazione di ripetute reazioni di orientamento e di adattamento, e con eventuale insorgenza o aggravamento di malattie ipertensive.

Le vibrazioni possono in alcune situazioni, od in presenza di caratteristiche di estrema suscettività strutturale o di elevati/prolungati livelli di sollecitazione dinamica, causare danni agli edifici. Tali situazioni si verificano tuttavia in corrispondenza di livelli di vibrazione notevoli, superiori di almeno un ordine di grandezza rispetto ai livelli tipici dell'annoyance. Per la valutazione delle soglie di accettabilità relative a tali effetti sono state elaborate norme tecniche nazionali (UNI) e internazionali (ISO), le quali, pur non avendo validità di legge, forniscono un riferimento per la valutazione dei fenomeni vibratori.

Il modello previsionale utilizzato nel caso della linea ferroviaria in studio si basa sul modello di propagazione teorico definito dal metodo di Kim e Lee che combina l'attenuazione geometrica e dissipativa secondo la seguente relazione per materiali omogenei (valido per tutti i tipi di onde P, S ed R):

$$a(d,f) = a_0\,(d_0,f)\cdot\frac{r_0}{r}\cdot e^{-2\pi f\left(\frac{\eta}{c}\right)(r-r_0)}$$

dove a è l'accelerazione alla distanza r dalla sorgente, a_0 è l'ampiezza alla distanza r_0 dalla sorgente, f la frequenza, η il coefficiente di smorzamento, c la velocità di propagazione delle onde. Il fattore di

smorzamento, η può essere desunto da dati di letteratura, mentre il coefficiente n dipende dal tipo di sorgente di vibrazioni e dal tipo di onda.

Localizzazione della sorgente	***Tipologia di sorgente***	***Tipo di onda indotta nel terreno***	***coefficiente n***
Superficie	Puntiforme	Onda di volume Onda superficiale	2,0 0,5
	Lineare	Onda di volume Onda superficiale	1,0 0
Sotterranea	Puntiforme	Onda di volume	1,0
	Lineare		0,5

4.2. Caratterizzazione della sorgente

Interazione ruota-rotaia

La sorgente di vibrazioni ferroviaria consiste nel movimento del treno lungo le rotaie e dalle conseguenti forze che nascono nell'interazione fra ruota, rotaia e struttura di appoggio della rotaia. I treni, in fase di riposo, esercitano una forza statica data dal peso trasmesso dalle ruote alle rotaie e distribuito dalla rotaia stessa, dalle traversine, dal supporto (ballast...) e dal terreno: si tratta del carico statico. Quando il treno si mette in movimento questa forza si sposta insieme al treno stesso, ma a causa delle imperfezioni e irregolarità superficiali di ruota, rotaia nonchè delle variazioni nel tipo di supporto della rotaia il carico statico eserciterà una forza dinamica, che si trasforma in vibrazioni generate nel punto di contatto ruota-rotaia e trasmesse nel terreno circostante. I parametri che influenzano il livello e le caratteristiche delle vibrazioni indotte dal passaggio del treno sono:

- ***Vibrazioni indotte dalla risposta della struttura del binario***
  - Carico statico assiale (peso del treno e spaziatura interassiale),
  - Geometria e composizione del treno (tipo, lunghezza...),
  - Velocità del treno,
- ***Interfaccia ruota-rotaia***
  - Imperfezioni della ruota (eccentricità, sbilanciamento, zone piatte, asperità),
  - Andatura instabile dei veicoli ferroviari;
  - Accelerazione e decelerazione del treno,
- ***Imperfezioni della rotaia***
  - Qualità della rotaia (corrugamenti, corrosione, asperità, giunti...),

- Curve e chicane (forze centrifughe)

- ***Variazioni nella struttura di supporto***
  - Geometria e rigidità della struttura di supporto (traversine, ballast e terreno),
  - Presenza di ghiaccio.

Un aumento del carico assiale aumenta ovviamente il carico dinamico generato dal passaggio del treno. Il raddoppio del carico assiale può aumentare i livelli di vibrazione da 2 a 4 dB (Kurzweil, 1979). La composizione dei treni ha inoltre un impatto notevole sulla generazione di vibrazioni, così come la velocità stessa del treno può portare a notevoli incrementi di vibrazione: secondo Kurzweil (1979) un raddoppio della velocità può comportare un aumento di vibrazione da 4 a 6 dB. Le imperfezioni superficiali della rotaia e della ruota sono la causa principale delle vibrazioni: le tipiche irregolarità superficiali delle ruote sono zone lisce (piatte) dovute alla frenatura. Le irregolarità della rotaia possono essere costituite da giunti fra spezzoni di rotaia (rotaie non saldate), corrugamenti, asperità o altro ancora. Secondo Kurzweil questi difetti possono aumentare i livelli di vibrazione da 10 a 20 dB. Altre cause di vibrazione sono le curve, accelerazioni/decelerazioni del treno, guida instabile dei veicoli…

Le variazioni nella struttura di supporto delle rotaie dipendono dalla geometria, rigidità e spaziatura fra le traversine. una traversina può perdere il contatto con il ballast sottostante, oppure si può verificare che una traversina sia supportata dal ballast meglio di quelle circostanti: in questo caso essa genererà una maggiore resistenza al passaggio del treno. E' piuttosto comune individuare un picco corrispondente alla frequenza della spaziatura delle traversine e in funzione della velocità del treno. Anche la rigidità e l'eterogeneità del ballast possono influenzare le forze generate dal transito del treno.

Come descritto sopra, il carico generato dai treni è dovuto ad un carico statico, dovuto al peso del treno, e ad un carico dinamico, generato dalle imperfezioni della rotaia, ruote, struttura di appoggio. I carichi dinamici variano il carico (e quindi la forza) complessiva trasmessa nella misura percentuale relativa al carico statico descritta nella seguente tabella.

Tipo di carico	Carico	Contributo
Statico	Peso del treno	100%
Dinamico	Contributo quasi-statico nelle curve	10-40%
"	Contributo dovuto ad asperità delle rotaie	50 – 300%
"	Contributo dovuto ad asperità delle ruote	50 – 300 %
"	Contributo dovuto ad accelerazioni e frenature	5 – 20 %

Il tipico spettro di frequenza generato dal transito di treni in gallerie è compreso fra 4 Hz e alcune centinaia di Hz. Vi possono essere picchi di frequenza compresi fra 80 e 100 dB.

Spettro di emissione dei transiti ferroviari

Per quanto concerne l'emissione dei transiti ferroviari, non disponendo di rilievi sperimentali in situ per la caratterizzazione della sorgente emissiva ferroviaria, dato l'attuale non utilizzo del collegamento, si è fatto riferimento ai risultati ottenuti da una campagna di rilievi effettuati su un terreno di caratteristiche similare a quello di progetto, ad una distanza pari a 5 metri e una velocità media di circa 50 km/h.

Tali rilievi eseguiti hanno permesso di determinare:

- l'entità e la variabilità dei transiti ferroviari in un numero statisticamente significativo alla sorgente;
- le caratteristiche di emissione delle vibrazioni di origine ferroviaria;
- le modalità di propagazione delle vibrazioni con una validazione sperimentale attraverso la funzione di trasferimento

Le emissioni di vibrazioni si concentrano nella gamma 20 Hz – 500 Hz, con un picco energetico fra i 30 e i 600 Hz. Gli spettri rilevati sono stati utilizzati come riferimento per il calcolo previsionale a partire dalla sorgente. Nello specifico per treni tipo merci si è registrato un valore medio delle accelerazioni per l'asse critico pari a 94,8 dB.

Con queste ipotesi (spettro massimo rilevato) si ritiene di calcolare l'immissione presso i potenziali ricettori con criteri particolarmente cautelativi.

4.3. La valutazione delle vibrazioni indotte in fase di esercizio

Il modello di esercizio considerato come dato di input è uguale a quello assunto per lo studio acustico, ovvero:

- 9 treni merci diurni e 12 treni merci notturni per binario (totale 42 treni merci al giorno sull'intera linea);
- Velocità di progetto pari a 30 km/h

Dall'analisi previsionale utilizzando i dati sperimentali emissivi caratteristici di un transito ferroviario di un convoglio merci unitamente al contesto orografico ed antropico dell'area di Genova interessata dall'intervento in progetto di seguito si riporta la funzione di trasferimento determinata per un singolo transito di un convoglio ferroviario merci e applicata per la valutazione dell'entità del disturbo indotto dall'intero esercizio della linea ferroviaria.

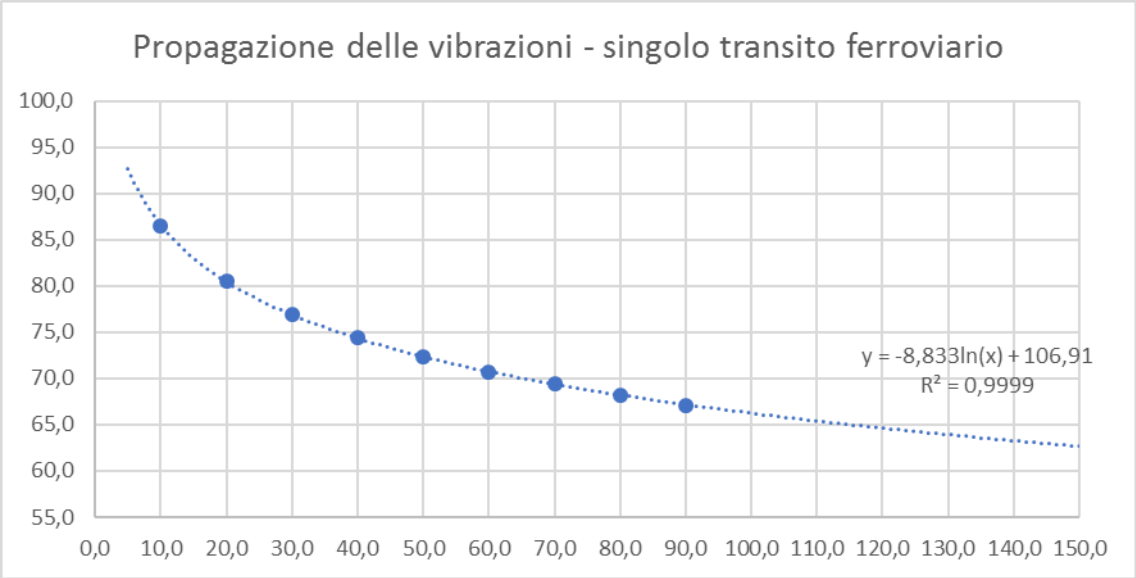


Figura 14 - Funzione di trasferimento per la propagazione delle vibrazioni determinata per un singolo transito di un convloglio ferroviario merci

Considerando quindi l'intero numero di transiti ferroviari sia nel periodo diurno che in quello notturno, dall'applicazione del modello previsionale così come costruito per l'asse di progetto emerge che non si hanno criticità e dunque non si registrano superamenti dei livelli limite individuati dalla UNI 9614:1990.

Nello specifico, applicando la legge di propagazione delle onde vibrazionali sopra riportata, si è individua la distanza dall'asse del binario più esterno alla quale viene raggiunto il valore di riferimento indicato dalla norma UNI 9614 nel periodo diurno (77 dB) e in quello notturno (74 dB).

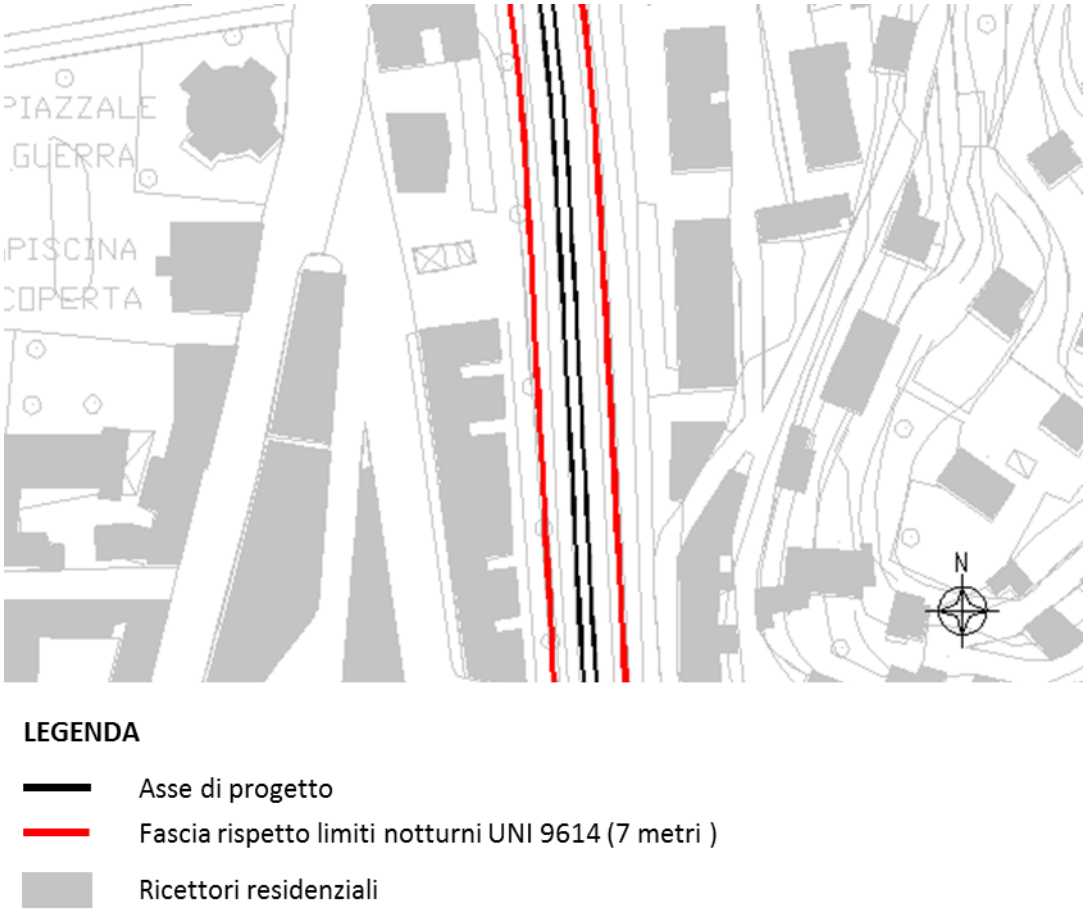


Figura 15 - Fasce di rispetto limite notturno UNI 9614

Come si evince dalla figura il limite notturno di 74 dB individuato dalla UNI 9614 viene raggiunto ad una distanza pari a 7 metri, distanza entro la quale non emergono criticità.

Alla luce della analisi preliminare condotta non emergono quindi criticità legate alle vibrazioni indotte dal transito dei convogli ferroviari, tuttavia si rimanda ad ulteriori approfondimenti nelle successive fasi di progettazione.

5. INTERVENTI DI MITIGAZIONE

Data la tipologia di opera, anche in relazione alle valutazioni fatte nel capitolo precedente, gli interventi di mitigazione dovranno concentrarsi soprattutto nella fase di cantiere in relazione alle emissioni in atmosfera ed emissioni acustiche.

Interventi di mitigazione acustica

Vista l'altezza delle sorgenti dal piano campagna e la loro distanza dai ricettori l'inserimento di mitigazioni di tipo passivo risulta ininfluente a mitigare l'impatto acustico.

Pertanto, verranno posti in essere gli accorgimenti indicati nel seguito in forma di check-list, per il contenimento delle emissioni di rumore.

Scelta delle macchine, delle attrezzature e miglioramenti prestazioni:

- selezione di macchine ed attrezzature omologate in conformità alle direttive della Comunità Europea e ai successivi recepimenti nazionali;
- impiego di macchine movimento terra ed operatrici privilegiando la gommatura piuttosto che la cingolatura;
- installazione, se già non previsti, di silenziatori sugli scarichi;
- utilizzo di gruppi elettrogeni e compressori insonorizzati.

Manutenzione dei mezzi e delle attrezzature:

- riduzione degli attriti attraverso operazioni di lubrificazione;
- sostituzione dei pezzi usurati;
- controllo delle giunzioni;
- bilanciatura delle parti rotanti per evitare vibrazioni eccessive;
- verifica della tenuta dei pannelli di chiusura dei motori;
- svolgimento di manutenzione alle sedi stradali interne alle aree di cantiere mantenendo la superficie stradale livellata per evitare la formazione di buche.

Modalità operazionali e predisposizione del cantiere:

- orientamento degli impianti che hanno una emissione direzionale in posizione di minima interferenza;
- localizzazione degli impianti fissi più rumorosi alla massima distanza dai ricettori;
- sfruttamento del potenziale schermante delle strutture fisse di cantiere con attenta progettazione del lay out di cantiere;
- limitazione allo stretto necessario delle attività nelle prime/ultime ore del periodo diurno (6÷8 e 20÷22);

- imposizione di direttive agli operatori tali da evitare comportamenti inutilmente rumorosi (evitare di far cadere da altezze eccessive i materiali o di trascinarli quando possono essere sollevati...);
- divieto di uso scorretto degli avvisatori acustici, sostituendoli quando possibile con avvisatori luminosi.

Per le aree perimetrali del fronte avanzamento lavori, per mitigare l'impatto acustico e anche quello legato alle emissioni atmosferiche, saranno utilizzate barriere acustiche su new jersey, di altezza 2,5 m, secondo lo schema che segue.

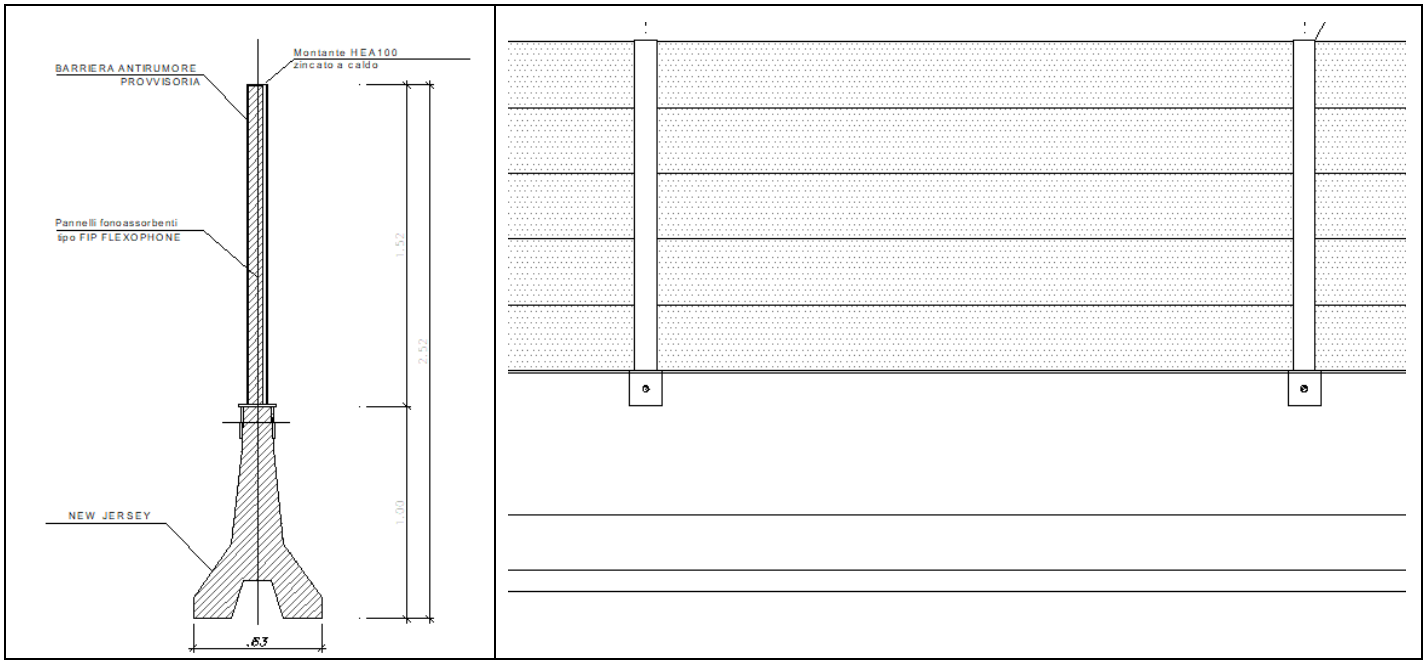


Figura 16 – Tipologico barriera antirumore su new jersey per il cantiere

Interventi di mitigazione per le vibrazioni

Per il rispetto del limite notturno di 74 dB individuato dalla UNI 9614 occorre prevedere un sistema di mitigazione delle vibrazioni costituito da materassino sottoballast nelle tratte individuate di seguito. Le valutazioni condotte garantiscono un buon margine e per limitare ulteriormente la propagazione delle vibrazioni tra sorgente e ricettori è previsto l'impiego di traversine ferroviarie tipo USP dotate si materassino integrato che consente un ulteriore contributo positivo nell'attenuazione delle vibrazioni.

Pk inizio	Pk fine	Lunghezza (m)
Imbocco galleria Sampierdarena pK 0+591 circa	1+023 circa	432
1+460 circa	2+169 circa	702

Il materassino sottoballast dovrà avere le seguenti caratteristiche:

Rigidezza di simulazione	Ks = 0,06 N / mm3
Irrigidimento dinamico massimo	kd / Kqs = 2,2
Smorzamento dinamico *v*	5 – 10%

Per la localizzazione dei tratti interessati dalla posa del tappetino si rimanda all'elaborato NG1H-02-D-CV-GZ-IM00-00-003-A00 – Applicazione del tappetino antivibrante.