COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

ALTA SORVEGLIANZA:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

GENERAL CONTRACTOR:

10/09/20

# 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. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| NG1H | 02 | D | CV | RO | IM0000 | 005 | A |

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 | Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

| | n. Elab.: | File: NG1H-02-D-CV-RO-IM00-00-005-A00 |
|---|---|---|

CUP: F81H92000000008

## INDICE

**1. PREMESSA ..... 3**

**2. IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI ESERCIZIO ..... 3**

**3. IMPATTO ACUSTICO IN FASE DI CANTIERE ..... 4**

3.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO ..... 4
3.2. ANALISI DEL SISTEMA INSEDIATIVO ..... 4
3.3. LIMITI DI RIFERIMENTO ..... 5
3.4. CARATTERIZZAZIONE DEL CLIMA ACUSTICO ANTE OPERAM ..... 6
3.5. STIMA DEL RUMORE INDOTTO DALL'IMPIANTO DI BETONAGGIO ..... 9
*3.5.1. Modello previsionale ..... 9*
*3.5.2. Dati di input del modello ..... 11*
*3.5.3. Calcolo dei livelli di impatto ..... 13*
*3.5.4. Gestione del cantiere ..... 17*

**4. VIBRAZIONI ..... 17**

4.1. MODELLO PREVISIONALE ..... 17
4.2. CARATTERIZZAZIONE DELLA SORGENTE ..... 18
4.3. LA VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI INDOTTE IN FASE DI ESERCIZIO ..... 20

**5. INTERVENTI DI MITIGAZIONE ..... 23**

## 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.

# 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.

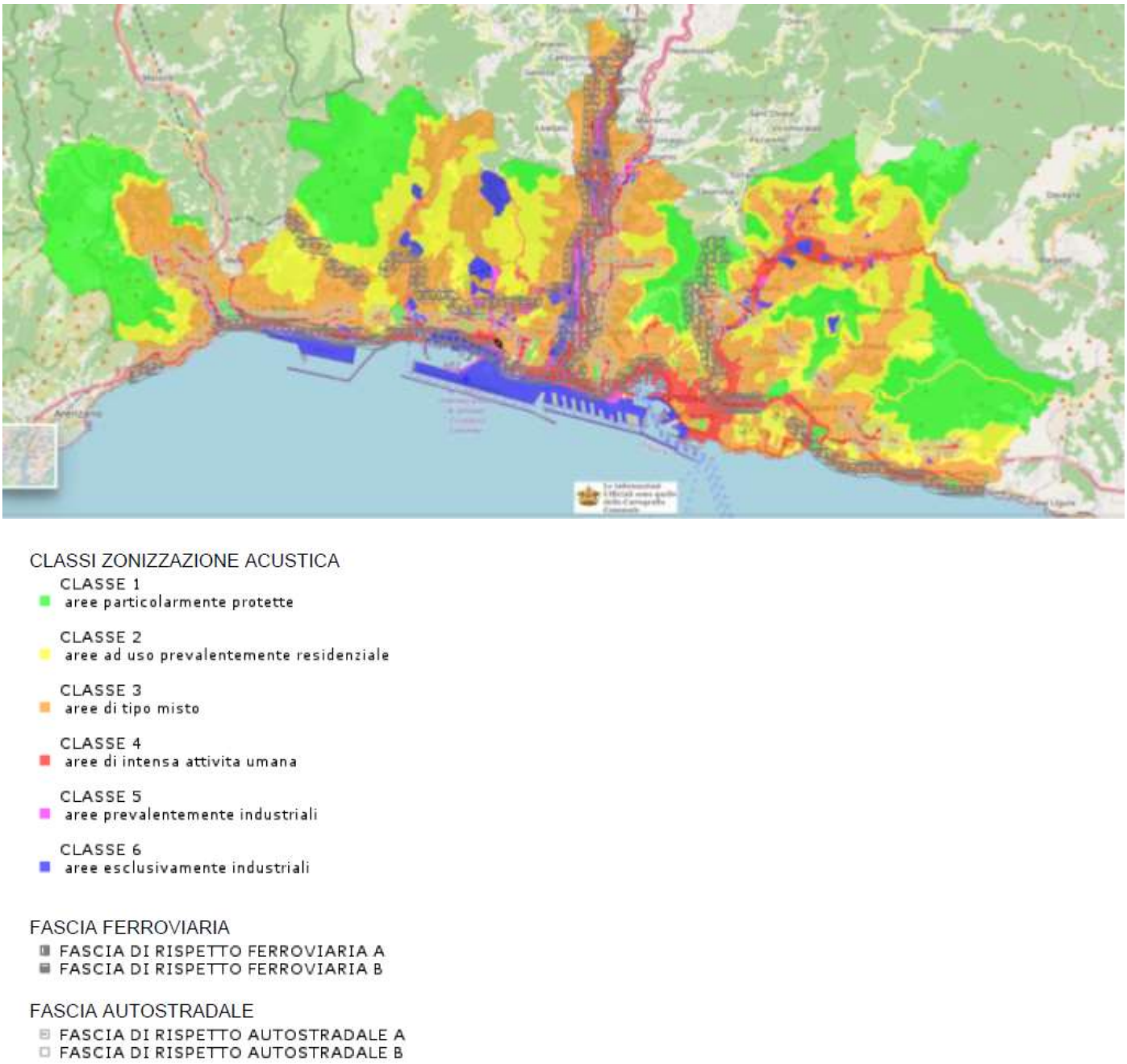



**Figura 1 – Piano di Classificazione Acustica (fonte Geoportale)**

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

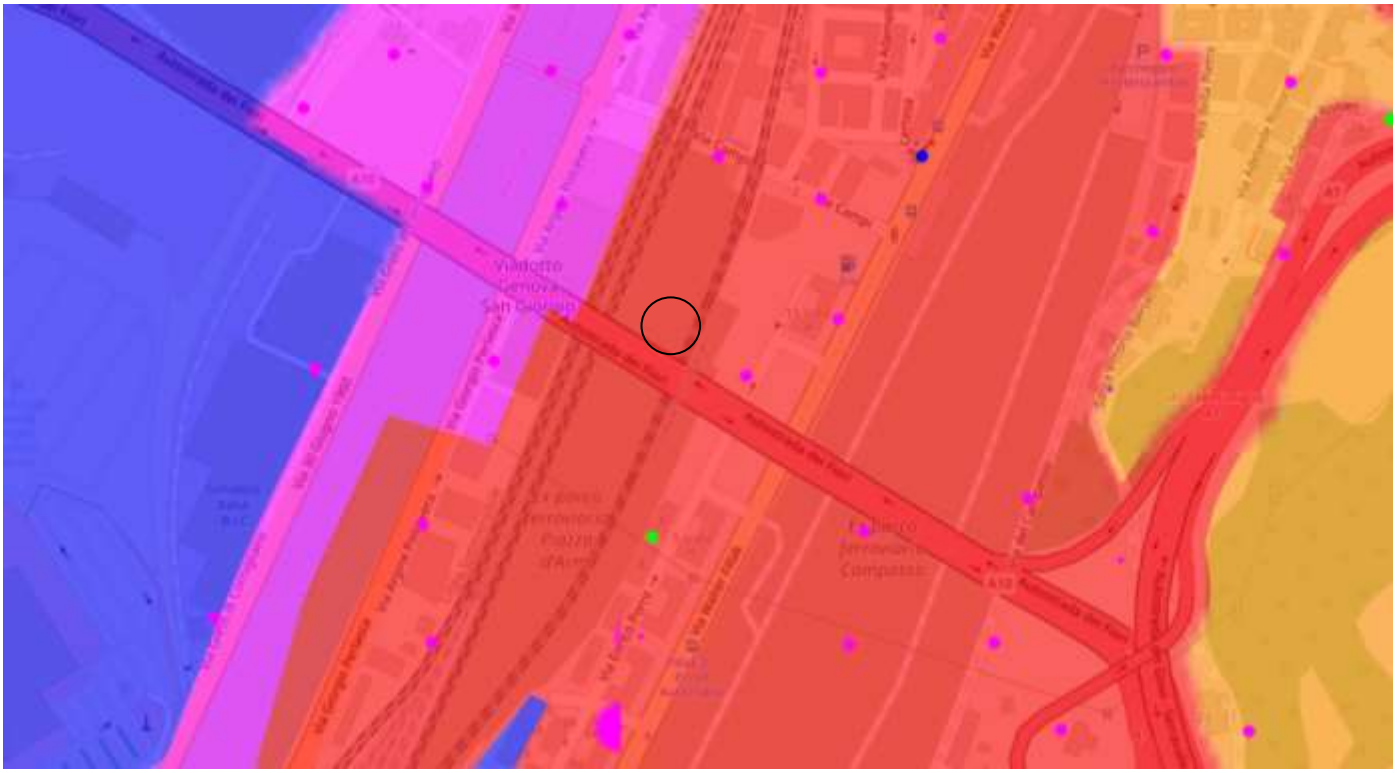


**Figura 2 – Dettaglio Piano di Classificazione Acustica (fonte Geoportale) con individuazione area di impianto (in nero)**

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 3 – 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 1 – 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.

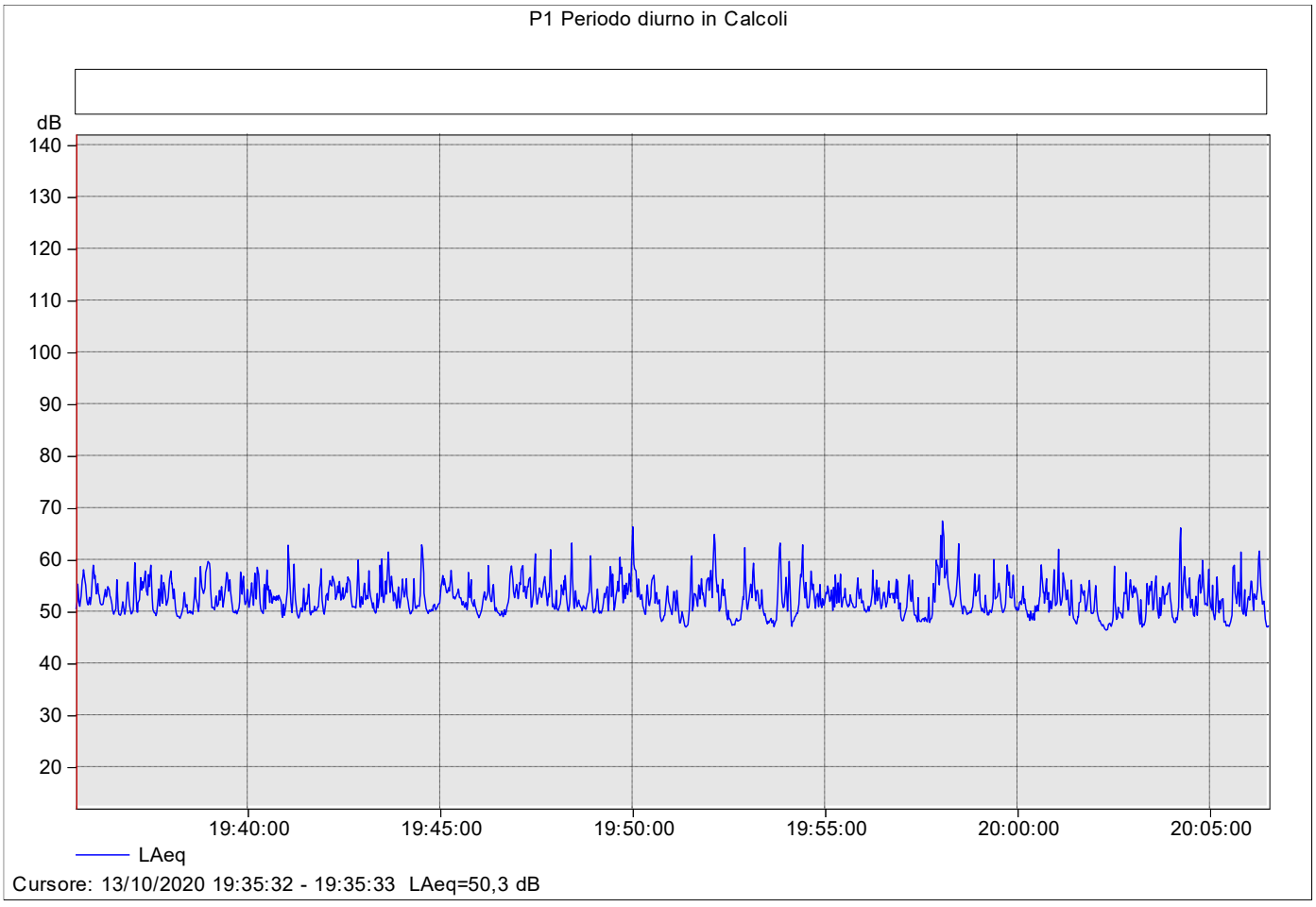



**Figura 4 – Time history misura periodo diurno**

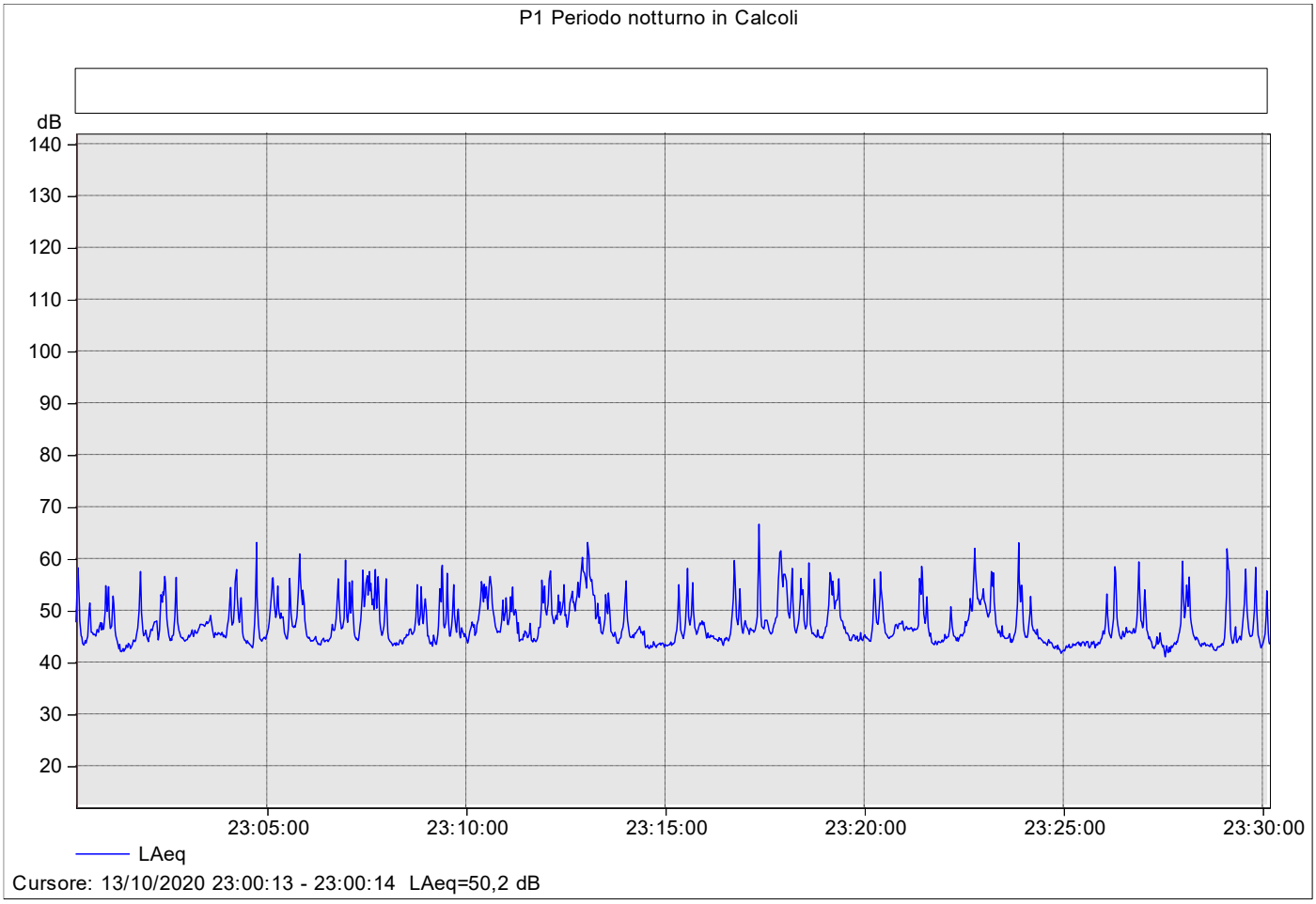



**Figura 5 – Time history misura periodo notturno**

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 2 - 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 6 – Time history misura periodo notturno**

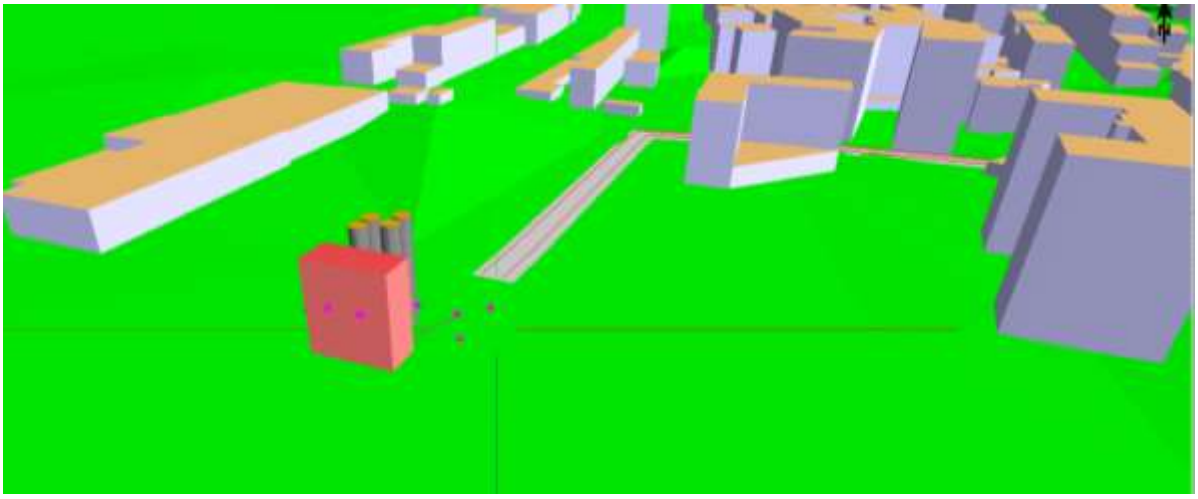


**Figura 7 – 3D impianto**

### *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.

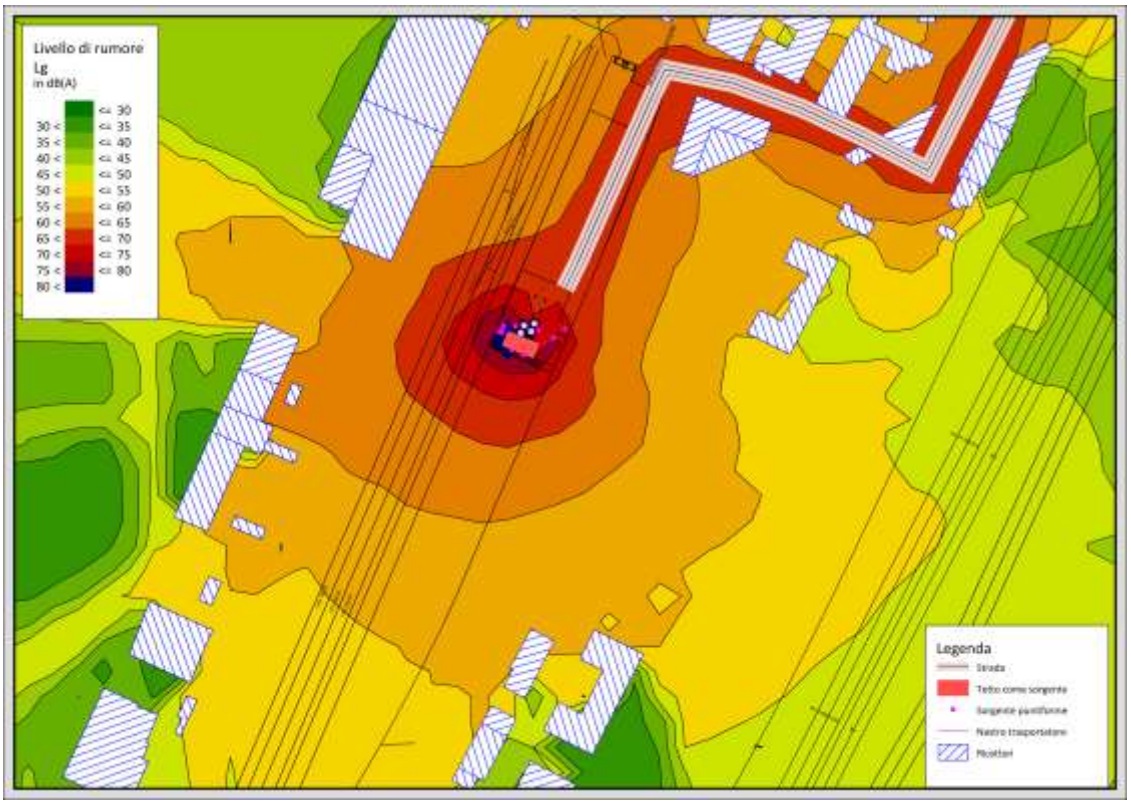



**Figura 8 – Mappa isofoniche periodo diurno h= 4 metri**

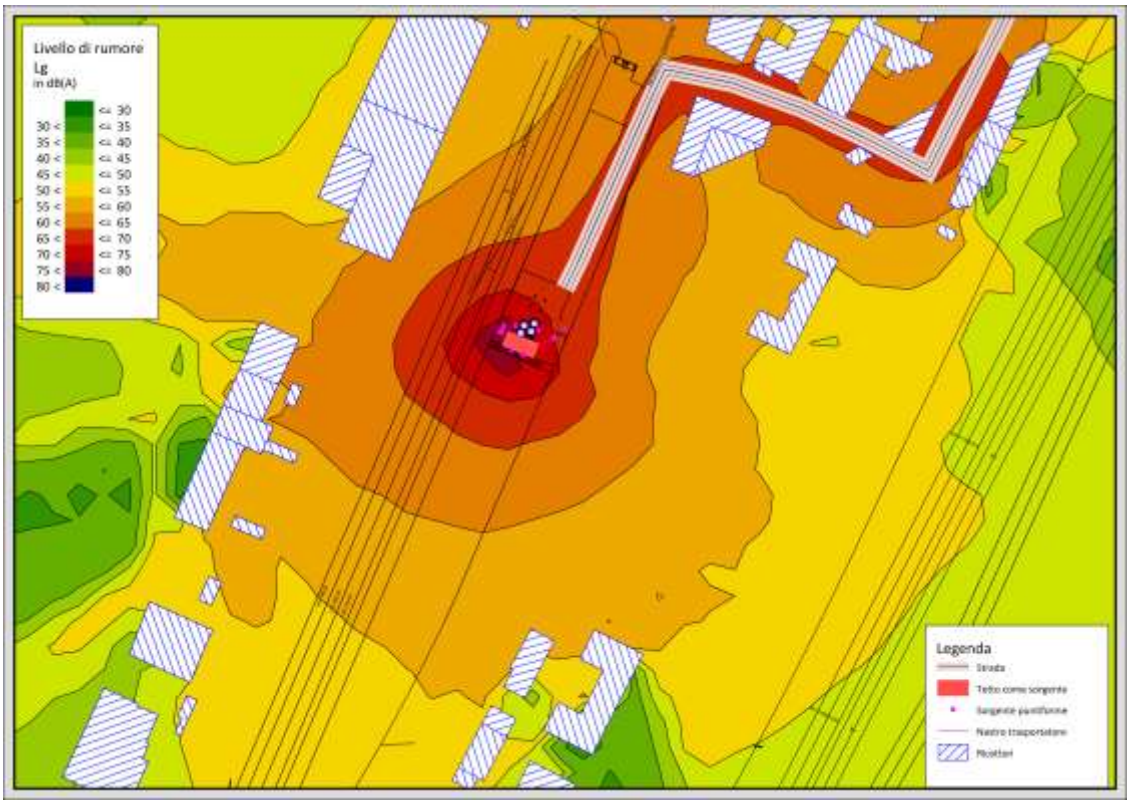



**Figura 9 – Mappa isofoniche periodo diurno h= 10 metri**

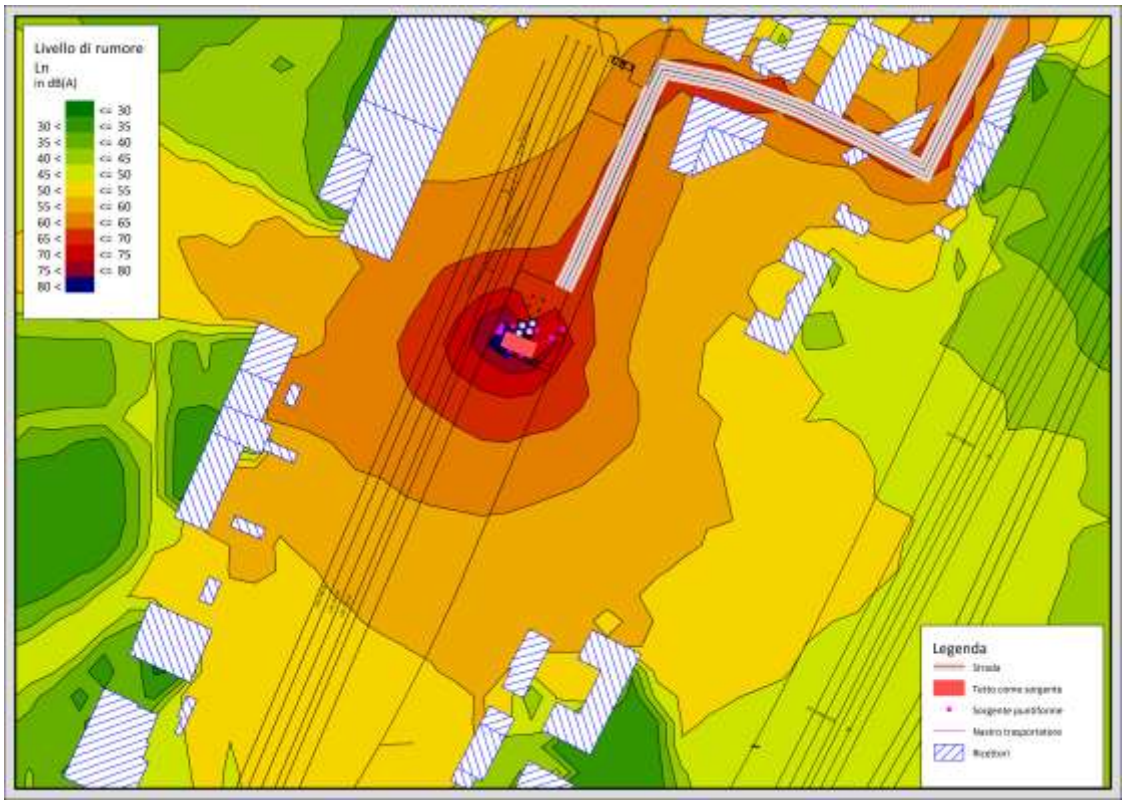



**Figura 10 – Mappa isofoniche periodo notturno h= 4 metri**

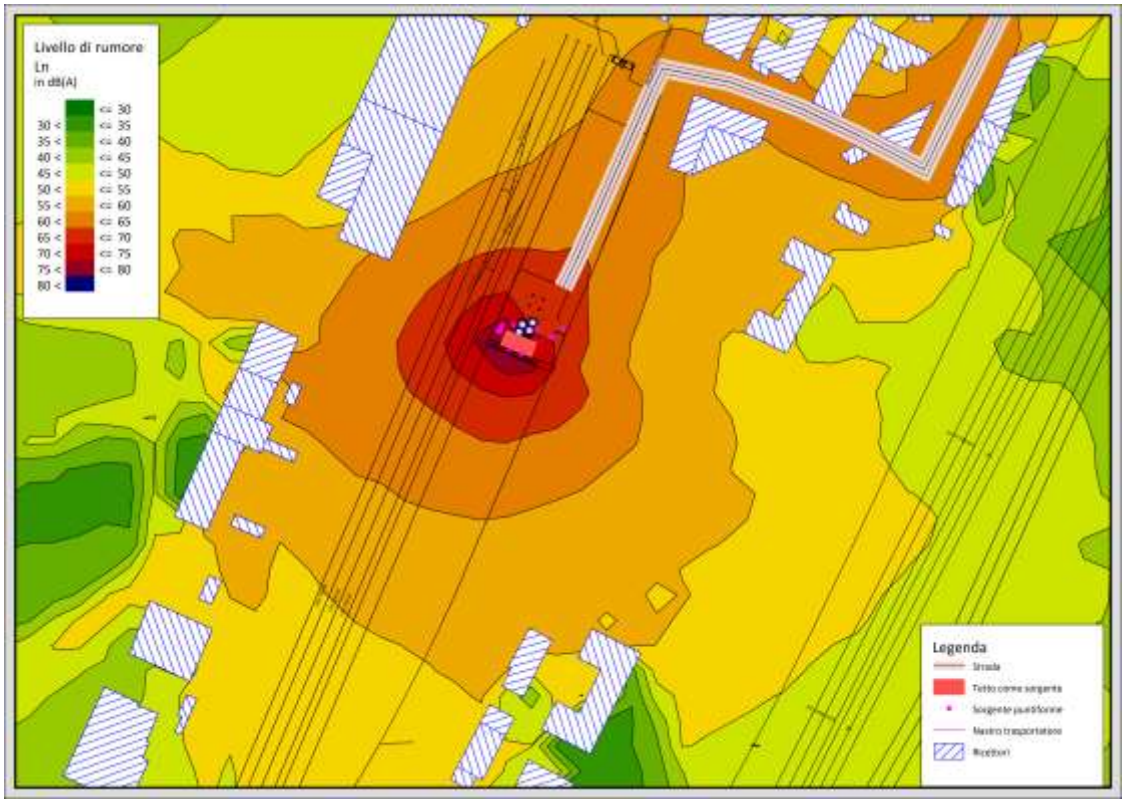



**Figura 11 – Mappa isofoniche periodo notturno h= 10 metri**

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, $\eta$ il coefficiente di smorzamento, c la velocità di propagazione delle onde. Il fattore di

smorzamento, $\eta$ 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<br>Onda superficiale | 2,0<br>0,5 |
| | Lineare | Onda di volume<br>Onda superficiale | 1,0<br>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 12 - 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).

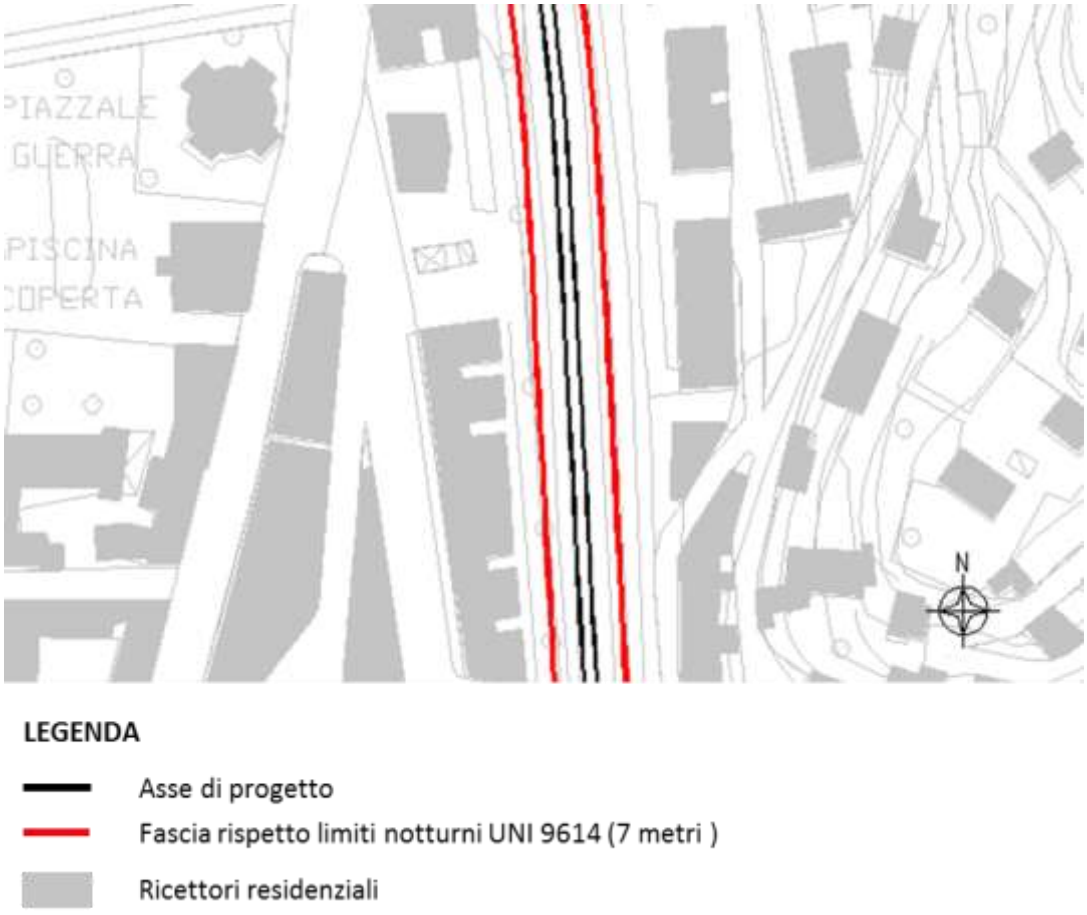



**Figura 13 - Fasce di rispetto limite notturno UNI 9614**

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.

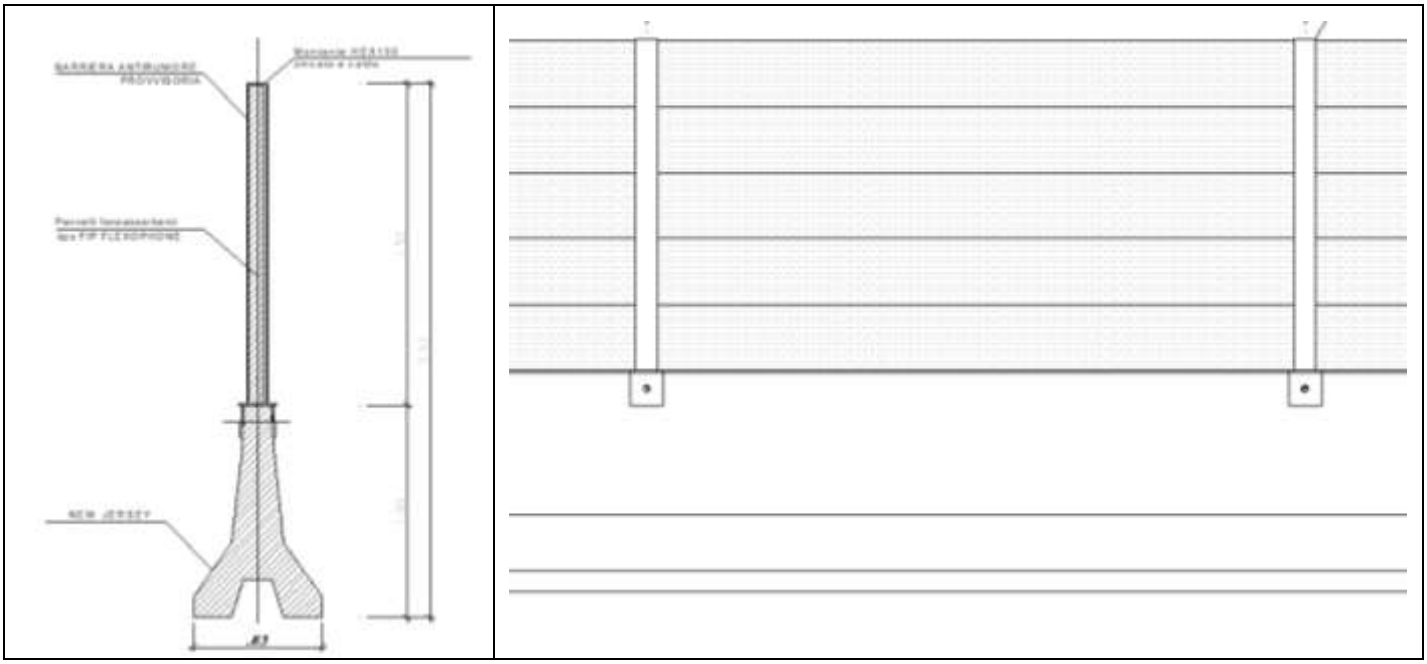


**Figura 14 – Tipologico barriera antirumore su new jersey per il cantiere**

***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.