



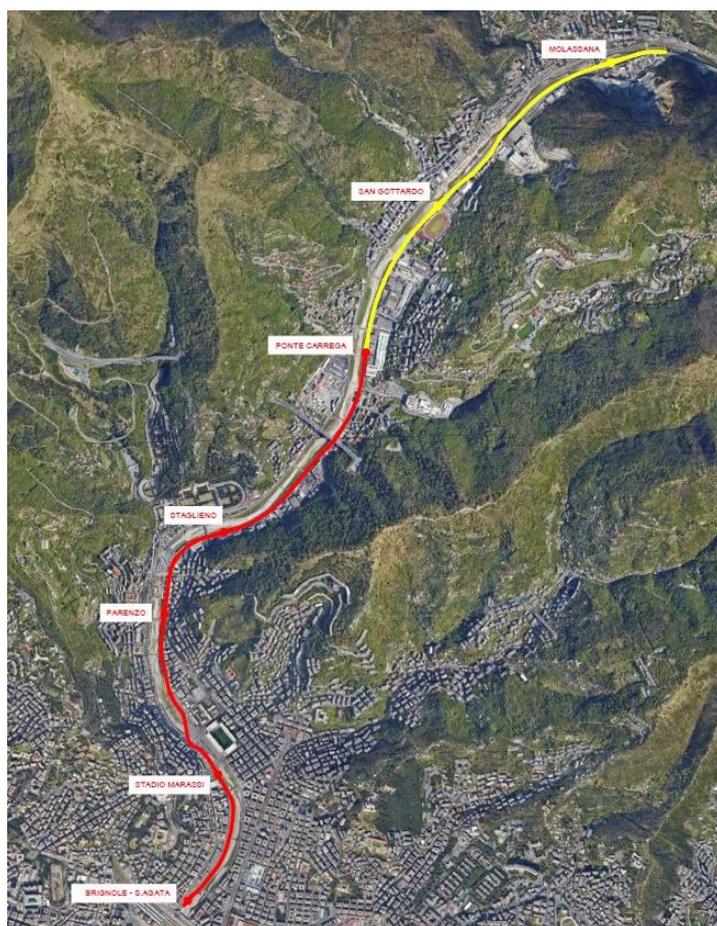
Comune di Genova

SKYMETRO

PROLUNGAMENTO DELLA METROPOLITANA IN VALBISAGNO

CUP B39J22001360001 CIG 9262977270

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA (D.lgs. n. 36 / 2023)



ELABORATI DI CARATTERE GENERALE

RELAZIONE TECNICA SUL RUMORE E SULLE VIBRAZIONI IN FASE DI CANTIERE

Commessa	Fase	Lotto	Disciplina	WBS	Tipo	Numero	Foglio	Rev.
MGE1	P4	LV	AMB	COM	R	012	00	A

Rev.	Descrizione	Nome		Data
A	Adeguamento al parere del CSLPP e altri Enti e allineamento progetto	Redatto	G. Bertelloni T. Baruzzo	03/2025
		Verificato	J. Masciotra	03/2025
		Approvato	A. Ferrari	03/2025
		Autorizzato	P. Cucino	03/2025
B		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		
C		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		
D		Redatto		
		Verificato		
		Approvato		
		Autorizzato		

INDICE

1.	INTRODUZIONE	8
2.	CLIMA ACUSTICO	9
2.1	DESCRIZIONE DEL CONTESTO AMBIENTALE E TERRITORIALE	9
2.1.1	INQUADRAMENTO NORMATIVO	9
2.1.2	VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI AMBIENTALI LEGATI AL CANTIERE	11
2.1.2.1	Descrizione degli impatti potenziali	11
2.1.2.1.1	Caratteristiche fisiche del rumore	11
2.1.2.1.2	Cenni sulla propagazione	13
2.1.2.1.3	Influenza dell'orografia sulla propagazione sonora	14
2.1.2.2	Metodologia per la valutazione dell'impatto acustico mediante il modello di simulazione SoundPlan	14
2.1.2.3	Impatto acustico dei cantieri mobili	17
2.1.2.4	Caratterizzazione acustica dei cantieri e delle sorgenti sonore	18
2.1.2.5	Scenari di simulazione	21
2.1.2.6	Inquadramento territoriale aree di cantiere	22
2.1.2.7	Inquadramento acustico aree di cantiere	24
2.1.2.8	Risultati delle simulazioni acustiche	25
2.1.2.8.1	Scenario 1a – Realizzazione pile viadotto – Aree gruppo a	26
2.1.2.8.2	Scenario 1b – Realizzazione pile viadotto – Aree gruppo b	27
2.1.2.8.3	Scenario 2a – Assemblaggio e posa impalcato – Aree gruppo a	29
2.1.2.8.4	Scenario 2b – Assemblaggio e posa impalcato – Aree gruppo b	30
2.1.2.8.5	Considerazioni sui risultati ante mitigazione	32
2.1.2.9	Barriere antirumore in corrispondenza dei ricettori prossimi alle aree di cantiere	32
2.1.2.9.1	Scenario 1a Post Mitigazione – Realizzazione pile viadotto – Aree gruppo a	37
2.1.2.9.2	Scenario 1b Post Mitigazione – Realizzazione pile viadotto – Aree gruppo b	38
2.1.2.9.3	Scenario 2a Post Mitigazione – Assemblaggio e posa impalcato – Aree gruppo a	40
2.1.2.9.4	Scenario 2b Post Mitigazione – Assemblaggio e posa impalcato – Aree gruppo b	41
2.1.3	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	43
2.1.3.1	Procedure operative	45
1.1.1.1	Deroga	47
3.	VIBRAZIONI	48
3.1	DESCRIZIONE DEL CONTESTO AMBIENTALE E TERRITORIALE	48
3.1.1	INQUADRAMENTO NORMATIVO	48
3.1.1.1	Norma UNI 9614 “Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo”	50
3.1.1.2	Norma UNI 9916 - Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici	53
3.1.1.3	Norma UNI 11048 - Vibrazioni meccaniche ed urti - Metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo	54
3.1.1.4	Riferimenti bibliografici	55
3.1.2	CONTESTO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO PER LO STUDIO VIBRAZIONALE	55
3.1.3	DEFINIZIONE DEL DISTURBO VIBRAZIONALE	56



3.1.4	METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DEI LIVELLI VIBRAZIONALI INDOTTI DAL CANTIERE	56
3.1.5	MODELLO DI CALCOLO	59
3.1.5.1	Sorgenti superficiali	59
3.1.5.2	Sorgenti in profondità	60
3.1.5.3	Sintesi delle ipotesi assunte	62
3.1.6	VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI AMBIENTALI LEGATI AL CANTIERE	62
3.1.6.1	Fase di cantiere	62
3.1.6.2	Definizione del tipo di sorgente	63
3.1.6.3	Valutazione della propagazione delle vibrazioni	66
3.1.6.4	Stima dei futuri livelli vibrazionali	66
3.1.6.5	Individuazione scenari maggiormente critici	70
3.1.6.5.1	Scenario 1a – Realizzazione pile viadotto – Aree gruppo a – periodo diurno	72
3.1.6.5.2	Scenario 1b – Realizzazione pile viadotto – Aree gruppo b – periodo diurno	73
3.1.6.5.3	Scenario 2a – Assemblaggio e posa impalcato – Aree gruppo a – periodo notturno	75
3.1.6.5.4	Scenario 2b – Assemblaggio e posa impalcato – Aree gruppo b – periodo notturno	76
3.1.7	CONCLUSIONI	79
3.1.8	MISURE DI PREVENZIONE E MITIGAZIONE	80

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Restituzioni grafiche generali e di dettaglio del modello con rappresentazione degli edifici nelle aree di intervento	16
Figura 2.	Restituzioni grafiche generali e di dettaglio del modello con rappresentazione degli edifici nelle aree di intervento	16
Figura 3.	Restituzioni grafiche generali e di dettaglio del modello con rappresentazione degli edifici nelle aree di intervento	17
Figura 4.	Scala cromatica dei livelli acustici conforme alla UNI 9884	18
Figura 5.	Inquadramento territoriale aree di cantiere	23
Figura 6.	Stralcio piano di classificazione acustica aree di cantiere	24
Figura 7.	Legenda edifici	25
Figura 8.	Layout inquadramento aree di calcolo per gli Scenari 1a e 2a	25
Figura 9.	Layout inquadramento aree di calcolo gli Scenari 1b e 2b	26
Figura 10.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 1a	27
Figura 11.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 1a	27
Figura 12.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 1b	28
Figura 13.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 1b	28
Figura 14.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 1b	28
Figura 15.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 2a	29
Figura 16.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 2a	29
Figura 17.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 2b	30
Figura 18.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 2b	30
Figura 19.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 2b	31
Figura 20.	Barriere antirumore sezione tipologica	33
Figura 21.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 1a Post Mitigazione	37
Figura 22.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 1a Post Mitigazione	38
Figura 23.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 1b Post Mitigazione	38
Figura 24.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 1b Post Mitigazione	39
Figura 25.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 1b Post Mitigazione	39
Figura 26.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 2a Post Mitigazione	40
Figura 27.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 2a Post Mitigazione	40
Figura 28.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 2b Post Mitigazione	41
Figura 29.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 2b Post Mitigazione	41
Figura 30.	Mappa di simulazione acustica – Scenario 2b Post Mitigazione	42
Figura 31.	Relazione tra mezzi d’opera e spettro di emissione di vibrazioni	57
Figura 32.	Filtri di ponderazione per i diversi assi di riferimento	58
Figura 33.	Propagazione dello spettro di vibrazione	58
Figura 34.	Valutazione della propagazione del livello di vibrazioni (Vettore Sorgente) a diverse distanze	58
Figura 35.	Tipi di onda di volume e di superficie (a sinistra) e velocità relativa delle onde P, R rispetto onde S (a destra)	59
Figura 36.	Schema della propagazione a partire da una sorgente profonda	61
Figura 37.	Spettri delle sorgenti dei macchinari con confronto con curva di percezione della UNI 9614 per l’asse Z	65
Figura 38.	Propagazione dei livelli di accelerazione in dB per singola frequenza per lo scenario OOCC sottostrutture viadotto	66

Figura 39.	Propagazione dei livelli di accelerazione in dB per singola frequenza per il pacchetto OOCC linea	66
Figura 40.	Propagazione dei livelli di accelerazione stimati sui ricettori residenziali per lo Scenario 1 – OOCC sottostrutture viadotto	68
Figura 41.	Propagazione dei livelli di accelerazione stimati sui ricettori residenziali per lo scenario 2 – OOCC Linea	68
Figura 42.	Legenda tipologia edifici	70
Figura 43.	Aree di cantiere valutate attive per lo Scenario 1a e Scenario 2a	71
Figura 44.	Aree di cantiere valutate attive per lo Scenario 1b e Scenario 2b	71
Figura 45.	Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite diurno (7.2 mm/s^2) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo diurno - Scenario 1a – OOCC sottostruttura viadotto	72
Figura 46.	Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite diurno (7.2 mm/s^2) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo diurno - Scenario 1a – OOCC sottostruttura viadotto	72
Figura 47.	Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite diurno (7.2 mm/s^2) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo diurno - Scenario 1b – OOCC sottostruttura viadotto	73
Figura 48.	Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite diurno (7.2 mm/s^2) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo diurno - Scenario 1b – OOCC sottostruttura viadotto	73
Figura 49.	Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite diurno (7.2 mm/s^2) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo diurno - Scenario 1b – OOCC sottostruttura viadotto	74
Figura 50.	Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite diurno (7.2 mm/s^2) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo diurno - Scenario 1b – OOCC sottostruttura viadotto	74
Figura 51.	Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite notturno ($3,6 \text{ mm/s}^2$) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo notturno - Scenario 2a – OOCC linea	75
Figura 52.	Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite notturno ($3,6 \text{ mm/s}^2$) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo notturno - Scenario 2a – OOCC linea	76
Figura 53.	Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite notturno ($3,6 \text{ mm/s}^2$) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo notturno - Scenario 2b – OOCC linea	76
Figura 54.	Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite notturno ($3,6 \text{ mm/s}^2$) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo notturno - Scenario 2b – OOCC linea	77
Figura 55.	Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite notturno ($3,6 \text{ mm/s}^2$) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo notturno - Scenario 2b – OOCC linea	77
Figura 56.	Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite notturno ($3,6 \text{ mm/s}^2$) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo notturno - Scenario 2b – OOCC linea	78



INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.	Descrizione delle classi acustiche (DPCM 14/11/1997	9
Tabella 2.	Valori limite di emissione - Leq in dBA	10
Tabella 3.	Valori limite assoluti di immissione- Leq in dBA	10
Tabella 4.	Valori limite assoluti di immissione previsti dal DPR 459/98	10
Tabella 5.	Stato della pianificazione acustica nei Comuni di localizzazione delle aree di intervento	11
Tabella 6.	Articolazione temporale delle lavorazioni ritenute maggiormente impattanti e relativi cantieri mobili attivi	19
Tabella 7.	Mezzi di cantiere e relativa potenza acustica LwA [dB(A)]	20
Tabella 8.	Lavorazione FAL Realizzazione Pile viadotto	21
Tabella 9.	Lavorazione FAL Assemblaggio e posa in notturna	21
Tabella 10.	Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m	33
Tabella 11.	Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m	33
Tabella 12.	Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m	34
Tabella 13.	Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m	34
Tabella 14.	Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m	34
Tabella 15.	Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m	35
Tabella 16.	Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m	35
Tabella 17.	Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m	35
Tabella 18.	Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m	35
Tabella 19.	Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m	36
Tabella 20.	Identificazione barriere antirumore mobili per gli Scenari 1b e 2b	36
Tabella 21.	Identificazione barriere antirumore mobili per gli Scenari 1b e 2b	37
Tabella 22.	Definizione dell'esponente n in base al tipo di sorgente e onda	59
Tabella 23.	Coefficiente di attenuazione	60
Tabella 24.	Pacchetti lavorazioni cantieri mobili	64
Tabella 25.	Sintesi distanze dal confine dell'area di cantiere per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti i limiti	69
Tabella 26.	Sinottico scenario di cantiere	70



1. INTRODUZIONE

La presente relazione analizza i possibili effetti indotti dai cantieri in termini di emissioni acustiche e vibrazionali potenzialmente emesse in fase di realizzazione dai vari cantieri operativi presenti nell'area oggetto dell'intervento.

La redazione dei successivi paragrafi è stata eseguita dai seguenti Tecnici Competenti in Acustica Ambientale, iscritti all'Elenco Nazionale (ENTECA) ai sensi del D. Lgs. del 17 febbraio 2017, n. 42:

- Dott. Gabriele Bertelloni (D.D. n. 3722 del 01/12/2015, Prov. Massa-Carrara - Iscrizione ENTECA n. 10229 del 22/01/2019);
- Ing. Tiziano Baruzzo (D.D. n. 3098 del 02/11/2011, Regione Liguria - Iscrizione ENTECA n. 2483 del 10/12/2018).

2. CLIMA ACUSTICO

2.1 Descrizione del contesto ambientale e territoriale

2.1.1 Inquadramento normativo

Ai fini dell'inquadramento del clima acustico dell'ambito interessato dagli interventi, si evidenzia che il regolamento Comunale disciplina le competenze in materia di inquinamento acustico, come esplicitamente indicato alla lettera e), comma 1, art. 6 della Legge n. 447/1995.

Pertanto, si attribuisce, alle diverse aree del territorio comunale, la classe acustica di appartenenza in riferimento alla classificazione introdotta dal DPCM 1° marzo 1991 e confermate nella Tab. A del DPCM 14 Novembre 1997 "Determinazione dei valori limiti delle sorgenti sonore".

Tabella 1. Descrizione delle classi acustiche (DPCM 14/11/1997)

CLASSE	DESTINAZIONE D'USO DEL TERRITORIO
I	aree particolarmente protette: rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo ed allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.
II	aree destinate ad uso prevalentemente residenziale: rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali e artigianali.
III	aree di tipo misto: rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione, con presenza di attività commerciali, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici.
IV	aree di intensa attività umana: rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali e uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali, le aree con limitata presenza di piccole industrie.
V	aree prevalentemente industriali: rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali con scarsità di abitazioni.
VI	aree esclusivamente industriali: rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi.

In relazione alla sopra descritte Classi di destinazione d'uso del territorio, il DPCM 14/11/1997 fissa, in particolare, i seguenti valori limite:

- i valori limiti di emissione - valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa;
- i valori limiti assoluti di immissione - il valore massimo di rumore, determinato con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale, che può essere immesso dall'insieme delle sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno misurato in prossimità dei ricettori.

Tabella 2. Valori limite di emissione - Leq in dBA

Classi di destinazione d'uso del territorio	Tempi di riferimento	
	Diurno (06:00 – 22:00)	Notturno (22:00 – 06:00)
I - aree particolarmente protette	45	35
II - aree prevalentemente residenziali	50	40
III - aree di tipo misto	55	45
IV - aree di intensa attività umana	60	50
V - aree prevalentemente industriali	65	55
VI - aree esclusivamente industriali	65	65

Tabella 3. Valori limite assoluti di immissione- Leq in dBA

Classi di destinazione d'uso del territorio	Tempi di riferimento	
	Diurno (06:00 – 22:00)	Notturno (22:00 – 06:00)
I - aree particolarmente protette	50	40
II - aree prevalentemente residenziali	55	45
III - aree di tipo misto	60	50
IV - aree ad intensa attività umana	65	55
V - aree prevalentemente industriali	70	60
VI - aree esclusivamente industriali	70	70

I limiti sopra indicati vengono presi in considerazione per la valutazione dell'impatto acustico nei confronti dell'ambiente circostante l'area di intervento, fermo restando che per le aree di pertinenza ferroviaria valgono i limiti stabiliti dal D.P.R. 459/98 riportati nella seguente tabella.

Tabella 4. Valori limite assoluti di immissione previsti dal DPR 459/98

TIPO DI INFRASTRUTTURA	VELOCITA' DI PROGETTO Km\h	FASCIA DI PERTINENZA	Scuole*, ospedali, case di cura e di riposo		Altri Ricettori	
			Diurno dB(A)	Notturno dB(A)	Diurno dB(A)	Notturno dB(A)
ESISTENTE	≤ 200	A=100mt	50	40	70	60
	≤ 200	B=150mt	50	40	65	55
NUOVA (*)	≤ 200	A=100mt (**)	50	40	70	60
	≤ 200	B=150mt (**)	50	40	65	55
NUOVA (*)	> 200	A+B (**)	50	40	65	55

(*) il significato di infrastruttura esistente si estende alle varianti ed alle infrastrutture nuove realizzate in affiancamento a quelle esistenti.

(**) per infrastrutture nuove e per i ricettori sensibili nella fascia di pertinenza

Con riferimento agli aspetti acustici che verranno trattati nei successivi paragrafi, il contesto ambientale e territoriale è descritto, dove presenti, dai Piani di Zonizzazione Acustica (PCCA) dei Comuni interessati dagli interventi.

Nella successiva tabella si riporta lo stato della pianificazione acustica in riferimento al presente studio.



Tabella 5. Stato della pianificazione acustica nei Comuni di localizzazione delle aree di intervento

Arete di cantiere	Tipologia cantiere	Comune	PCCA
A0	Cantiere mobile (FAL)	Genova	Approvato con deliberazione del Consiglio Comunale n. 51 del 08/09/2020
A1	Cantiere mobile (FAL)		
A2	Cantiere mobile (FAL)		
A3	Cantiere mobile (FAL)		
A4	Cantiere mobile (FAL)		
A5	Cantiere mobile (FAL)		
B0	Cantiere mobile (FAL)		
B1	Cantiere mobile (FAL)		
B2	Cantiere mobile (FAL)		
B3	Cantiere mobile (FAL)		
B4	Cantiere mobile (FAL)		
B5	Cantiere mobile (FAL)		
C1	Cantiere mobile (FAL)		
C2	Cantiere mobile (FAL)		
C3	Cantiere mobile (FAL)		
C4	Cantiere mobile (FAL)		
C5	Cantiere mobile (FAL)		
D1	Cantiere mobile (FAL)		
D2	Cantiere mobile (FAL)		
D3	Cantiere mobile (FAL)		
D4	Cantiere mobile (FAL)		
D5	Cantiere mobile (FAL)		
E1	Cantiere mobile (FAL)		

2.1.2 Valutazione degli aspetti ambientali legati al cantiere

2.1.2.1 Descrizione degli impatti potenziali

2.1.2.1.1 Caratteristiche fisiche del rumore

Il rumore è un fenomeno fisico, definibile come un'onda di pressione che si propaga attraverso un gas. Nell'aria le onde sonore sono generate da variazioni della pressione sonora sopra e sotto il valore statico della pressione atmosferica, e proprio la pressione diventa quindi una grandezza fondamentale per la descrizione di un suono.

La gamma di pressioni è però così ampia da suggerire l'impiego di una grandezza proporzionale al logaritmo della pressione sonora, in quanto solamente una scala logaritmica è in grado di comprendere l'intera gamma delle pressioni.

In acustica, quando si parla di livello di una grandezza, si fa riferimento al logaritmo del rapporto tra questa grandezza ed una di riferimento dello stesso tipo.



Al termine livello è collegata non solo l'utilizzazione di una scala logaritmica, ma anche l'unità di misura, che viene espressa in decibel (dB). Tale unità di misura indica la relazione esistente tra due quantità proporzionali alla potenza.

Si definisce, quindi, come livello di pressione sonora, corrispondente ad una pressione p , la seguente espressione:

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \text{ dB} = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \text{ dB}$$

dove p_0 indica la pressione di riferimento, che nel caso di trasmissione attraverso l'aria è di 20 micropascal, mentre P rappresenta il valore RMS della pressione.

I valori fisici riferibili al livello di pressione sonora non sono, però, sufficienti a definire l'entità della sensazione acustica. Non esiste, infatti, una relazione lineare tra il parametro fisico e la risposta dell'orecchio umano (sensazione uditiva), che varia in funzione della frequenza.

A tale scopo, viene introdotta una grandezza che prende il nome di intensità soggettiva, che non risulta soggetta a misura fisica diretta e che dipende dalla correlazione tra livello di pressione e composizione spettrale.

I giudizi di eguale intensità a vari livelli e frequenze hanno dato luogo alle curve di iso-rumore, i cui punti rappresentano i livelli di pressione sonora giudicati egualmente rumorose da un campione di persone esaminate.

Dall'interpretazione delle curve iso-rumore deriva l'introduzione di curve di ponderazione, che tengono conto della diversa sensibilità dell'orecchio umano alle diverse frequenze; tra queste, la curva di ponderazione A è quella che viene riconosciuta come la più efficace nella valutazione del disturbo, in quanto è quella che si avvicina maggiormente alla risposta della membrana auricolare.

In acustica, per ricordare la curva di peso utilizzata, è in uso indicarla tra parentesi nell'unità di misura adottata, che comunque rimane sempre il decibel, vale a dire dB(A).

Allo scopo di caratterizzare il fenomeno acustico, vengono utilizzati diversi criteri di misurazione, basati sia sull'analisi statistica dell'evento sonoro, che sulla quantificazione del suo contenuto energetico nell'intervallo di tempo considerato.

Il livello sonoro che caratterizza nel modo migliore la valutazione del disturbo indotto dal rumore è rappresentato dal livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A, L_{eq} , definito dalla relazione analitica:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right]$$

essendo:

- $p(t)$ = valore istantaneo della pressione sonora secondo la curva A;



- p_0 = valore della pressione sonora di riferimento, assunta uguale a 20 micro pascal in condizioni standard;
- T = intervallo di tempo di integrazione.

Il Leq costituisce la base del criterio di valutazione proposto sia dalla normativa italiana che dalla raccomandazione internazionale I.S.O. n. 1996 sui disturbi arrecati alle popolazioni, ed inoltre viene adottato anche dalle normative degli altri paesi.

Il livello equivalente continuo costituisce un indice dell'effetto globale di disturbo dovuto ad una sequenza di rumore compresa entro un dato intervallo di tempo; esso corrisponde cioè al livello di rumore continuo e costante che nell'intervallo di tempo di riferimento possiede lo stesso "livello energetico medio" del rumore originario.

Il criterio del contenuto energetico medio è basato sull'individuazione di un indice globale, rappresentativo dell'effetto sull'organo uditivo di una sequenza di rumori entro un determinato intervallo di tempo; esso in sostanza commisura, anziché i valori istantanei del fenomeno acustico, l'energia totale in un certo intervallo di tempo.

Il Leq non consente di caratterizzare le sorgenti di rumore, in quanto rappresenta solamente un indicatore di riferimento; pertanto, per meglio valutare i fenomeni acustici è possibile considerare i livelli percentili, i livelli massimo e minimo, il SEL.

I livelli percentili (L1, L5, L10, L33, L50, L90, L95, L99) rappresentano i livelli che sono stati superati per una certa percentuale di tempo durante il periodo di misura:

- l'indice percentile L1 connota gli eventi di rumore ad alto contenuto energetico (livelli di picco);
- l'indice percentile L10 è utilizzato nella definizione dell'indicatore "clima acustico", che rappresenta la variabilità degli eventi di rumore rilevati;
- l'indice L50 è utilizzabile come indice di valutazione del flusso autoveicolare;
- l'indice percentile L95 è rappresentativo del rumore di fondo dell'area;
- il livello massimo (L_{max}), connota gli eventi di rumore a massimo contenuto energetico;
- il livello minimo (L_{min}), consente di valutare l'entità del rumore di fondo ambientale;
- il SEL rappresenta il livello sonoro di esposizione ad un singolo evento sonoro.

2.1.2.1.2 Cenni sulla propagazione

Nella propagazione del suono avvengono più fenomeni che contemporaneamente provocano l'abbassamento del livello di pressione sonora e la modifica dello spettro in frequenza.

Principale responsabile dell'abbassamento del livello di pressione sonora è la divergenza del campo acustico, che porta in campo libero (propagazione sferica) ad una riduzione di un fattore quattro dell'intensità sonora (energia per secondo per unità di area) per ogni raddoppio della distanza. Di minore importanza, ma capace di grandi effetti su grandi distanze, è l'assorbimento dovuto all'aria, che dipende però fortemente dalla frequenza e dalle condizioni meteorologiche (principalmente dalla temperatura e dall'umidità).

Vi sono poi da considerare l'assorbimento da parte del terreno, differente a seconda della morfologia (suolo, copertura vegetativa e altimetria) dell'area in analisi, inoltre l'effetto dei gradienti di



temperatura, della velocità del vento ed effetti schermanti vari causati da strutture naturali e create dall'uomo.

La differente attenuazione delle varie frequenze costituenti il rumore da parte dei fattori citati e la contemporanea tendenza all'equipartizione dell'energia sonora tra le stesse portano ad una modifica dello spettro sonoro "continua" all'aumentare della distanza da una sorgente, specialmente se questa è complessa ed estesa come una struttura stradale o ferroviaria.

2.1.2.1.3 Influenza dell'orografia sulla propagazione sonora

La presenza di ostacoli modifica la propagazione teorica delle onde sonore generando sia un effetto di schermo e riflessione, sia un effetto di diffrazione, ovvero di instaurazione di una sorgente secondaria. Quindi, come è nell'esperienza di tutti, colli o, in alcuni casi, semplici dossi o trincee sono in grado di limitare sensibilmente la propagazione del rumore, o comunque di variarne le caratteristiche. Tale attenuazione aumenta al crescere della dimensione dell'ostacolo e del rapporto tra dimensione dell'ostacolo e la distanza di questo dal ricettore; in particolare le metodologie di analisi più diffuse utilizzano il cosiddetto "numero di Fresnel" che prende in considerazione parametri come la lunghezza d'onda del suono e la differenza del cammino percorso dall'onda sonora in presenza o meno dell'ostacolo.

Infine, si segnala tra gli altri, il fenomeno della concentrazione dell'energia sonora che può essere determinato da riflessioni multiple su ostacoli poco fonoassorbenti. Tipicamente tale fenomeno può creare un effetto di amplificazione con le sorgenti poste nelle gole.

2.1.2.2 *Metodologia per la valutazione dell'impatto acustico mediante il modello di simulazione SoundPlan*

La determinazione dei livelli di rumore indotti è stata effettuata con l'ausilio del modello previsionale di calcolo SoundPLAN 8.2 della soc. Braunstein + BerntGmbH.

La scelta di applicare tale modello di simulazione è stata effettuata in considerazione delle caratteristiche del modello, del livello di dettaglio che è in grado di raggiungere e, inoltre, della sua affidabilità ampiamente garantita dalle applicazioni già effettuate in altri studi analoghi.

SoundPLAN è un modello previsionale ad "ampio spettro" in quanto permette di studiare fenomeni acustici generati da rumore stradale, ferroviario, aeroportuale e industriale utilizzando di volta in volta gli standard internazionali più ampiamente riconosciuti.

Per quanto riguarda i cantieri per la realizzazione delle opere e dei manufatti in progetto, non essendo al momento possibile determinare le caratteristiche di dettaglio dei macchinari di cantiere, con le relative fasi di utilizzo (queste dipenderanno infatti dall'organizzazione propria dell'appaltatore), sono state eseguite le simulazioni ipotizzando quantità e tipologie di sorgenti standard.

Per il calcolo del rumore emesso durante la realizzazione delle opere in progetto sono state valutate le relative fasi di lavoro, individuando quella più rumorosa; per tale fase sono state individuate le sorgenti sonore attive con i relativi livelli di potenza sonora, ed inserite nel modello di simulazione SoundPLAN in cantieri tipo, per i quali sono state effettuate simulazioni per consentire la determinazione dell'impatto acustico provocato nell'intorno delle stesse. I dati di input funzionali alla definizione del modello di simulazione derivano dall'analisi congiunta dei seguenti elaborati:



- Relazione di cantierizzazione;
- Programma dei lavori;
- Tavole di progetto (comprendenti tracciati planimetrici, profili altimetrici ed elaborati di cantierizzazione);

Per la realizzazione del modello sono poi stati utilizzate informazioni derivanti da:

- cartografia numerica digitale 3D ed ortofoto geo riferite dell'area di studio;
- livelli di pressione sonora o dati di targa delle sorgenti inserite.

L'analisi congiunta dei seguenti dati di input ha permesso di giungere alla definizione dello scenario maggiormente critico. Ovvero quello che prevede:

- Contemporaneità delle lavorazioni
- Massima vicinanza ricettori
- Maggiore presenza di macchinari e mezzi d'opera.

Il materiale documentale è stato integrato da sopralluoghi in sito mirati a definire le porzioni di territorio interessate dallo studio, di analizzarne la relativa morfologia e corografia e in particolar modo di individuare i principali recettori. Sulla scorta del materiale disponibile si è proceduto all'inserimento nel software dei seguenti elementi:

- modello digitale del terreno (DGM Digital Ground Model) ottenuto sulla base di punti di elevazione provenienti dal rilievo plano-altimetrico, che descrive con sufficiente accuratezza la morfologia del terreno, opportunamente modificata tenendo conto degli interventi sul terreno previsti dal progetto stesso;
- modelli tridimensionali degli edifici ottenuti sulla base delle quote della cartografia digitale e mediante integrazioni dovute a sopralluoghi;
- modello tridimensionale del progetto;
- caratterizzazione delle sorgenti.

La disponibilità di dati cartografici in formato numerico permette di ottenere un controllo completo ed un'accuratezza elevata nella modellazione dello stato reale. Inoltre, ciascuno degli elementi è caratterizzato mediante l'attribuzione di tutte le grandezze e le caratteristiche d'esercizio idonee per simulare con accuratezza lo stato reale. Considerate le condizioni conservative adottate per la realizzazione del modello e la scelta di considerare i risultati delle simulazioni entro i limiti solo nel caso di un livello calcolato sempre minore e mai uguale al limite vigente, si può ritenere di aver adoperato impostazioni modellistiche di tipo ampiamente cautelativo. Altri parametri impostati nel modello di calcolo sono l'imposizione di calcolare almeno una riflessione, l'imposizione di un campo libero davanti alle superfici di almeno 1 mt lineare, la condizione di propagazione sottovento, la predisposizione di una griglia i cui elementi hanno dimensioni 5 m x 5 m.

Nella realizzazione del modello tridimensionale, in particolare nell'inserimento dell'edificato, è stata omessa la presenza del plesso corrispondente all'Istituto d'Istruzione Superiore "Firpo-Buonarroti" in Via Canevari (in adiacenza allo Stadio Luigi Ferraris), essendo per esso prevista la demolizione a monte delle lavorazioni.



Figura 1. Restituzioni grafiche generali e di dettaglio del modello con rappresentazione degli edifici nelle aree di intervento

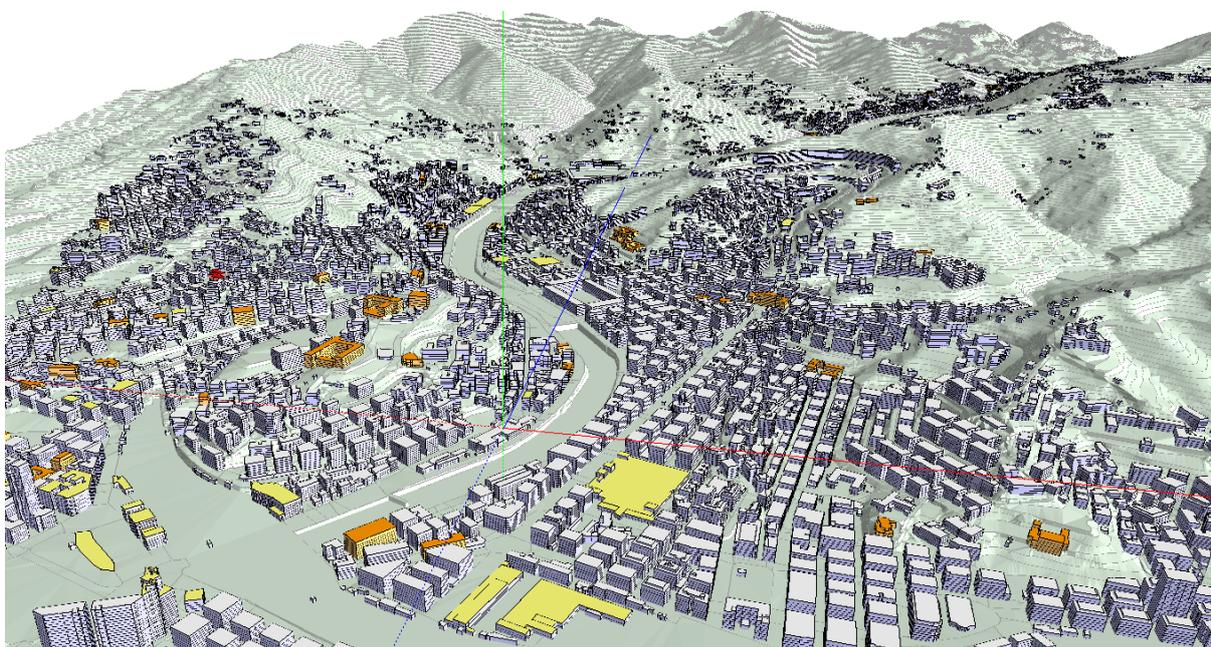


Figura 2. Restituzioni grafiche generali e di dettaglio del modello con rappresentazione degli edifici nelle aree di intervento

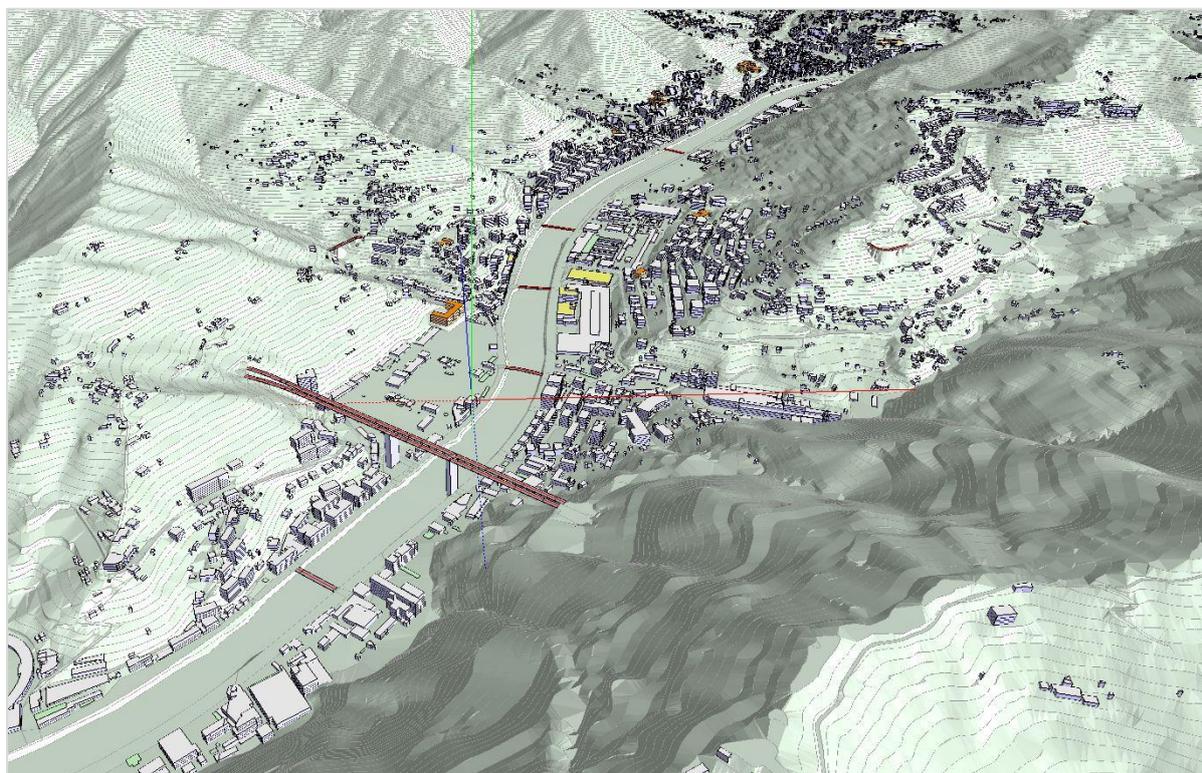


Figura 3. Restituzioni grafiche generali e di dettaglio del modello con rappresentazione degli edifici nelle aree di intervento

2.1.2.3 Impatto acustico dei cantieri mobili

Per quanto riguarda i cantieri mobili del fronte di avanzamento lavori sono state valutate le principali tipologie di opere previste per la realizzazione della sede metro tranviaria e delle opere connesse.

Non essendo possibile nella presente fase progettuale determinare le caratteristiche di dettaglio dei macchinari di cantiere, con le relative fasi di utilizzo (queste dipenderanno infatti dall'organizzazione propria dell'Appaltatore), sono state eseguite le **simulazioni ipotizzando quantità e tipologie di sorgenti standard**. Le sorgenti sonore attive nei diversi scenari di lavoro simulati e nel seguito descritti in dettaglio, sono state inserite, con i relativi livelli di potenza sonora, nel modello di simulazione SoundPLAN per consentire la determinazione dell'impatto acustico nell'intorno delle stesse.

Per la determinazione del livello di emissione sonora prodotta dalla realizzazione delle opere (come viadotti, e altre O.C.) e le conseguenti opere di mitigazione è stato considerato un fronte di lavorazione come sorgente aerea calcolata come la totalità delle macchine utilizzate per la realizzazione dell'opera ipotizzate in fronti di 100 metri ciascuno. Alla luce di quanto ipotizzato per il calcolo della potenza sonora distribuita L_w/mq si applicherà la formula:

$$L_{w/m^2} = 10 \log \left(\frac{10^{L_w/10}}{S} \right)$$

Dove:

L_w : potenza sonora totale realizzazione opera

S: Superficie [m²] fronte di lavorazione

Pertanto, ipotizzando la realizzazione di un'opera e stimando il livello L_w totale con area di lavorazione di 100 metri quadrati otterremo:

$$L_{w/m^2} = 10 \log \left(\frac{10^{L_{w_{tot}}/10}}{100} \right)$$

La stima dei livelli di pressione sonora indotti sui ricettori è stata effettuata con una simulazione di dettaglio, predisponendo un modello tridimensionale semplificato; per quanto riguarda gli ostacoli diversi dal terreno si è ritenuto, in favore di sicurezza, di inserire solamente gli edifici maggiormente esposti. La determinazione dei livelli di rumore indotti è stata effettuata con l'ausilio del software SoundPLAN della soc. Braunstein + Bernt GmbH, che consente di predisporre un DGM (Digital Ground Model) a partire da input in formati CAD - compatibili con informazioni vettoriali, implementando un sistema di coordinate tridimensionale. Il modello consente di inserire gli edifici con le relative quote rispetto al piano campagna e di caratterizzare le sorgenti, in termini di geometria, caratteristiche spettrali e parametri di emissione. L'orografia è stata ottenuta dalla CTR disponibile in rete, opportunamente corretta ed implementata sulla base di immagini satellitari recenti.

Tutte le simulazioni sono state effettuate nella seguente configurazione di calcolo:

- Riflessioni: sono state considerate riflessioni di ordine adeguato;
- Fattore di assorbimento del suolo (Ground factor): 0.2;
- Raggio di ricerca delle sorgenti: 1000 metri;
- Angolo di ricerca delle sorgenti: 360°;
- Incremento angolare: 1°;
- Diffrazione: abilitata l'opzione che tiene conto della diffrazione laterale;
- Calcolo di mappe isofoniche in pianta: maglia quadrata a passo 10x10 metri con metodo di calcolo grid noise map;

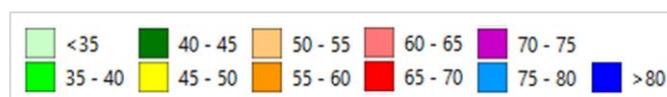


Figura 4. Scala cromatica dei livelli acustici conforme alla UNI 9884

La mappatura al continuo presenta la distribuzione dei livelli di emissione istantanea all'altezza standard di 4 metri dal piano campagna locale, con campiture a colori a passo 5 dB(A) in conformità alla UNI 9884 come riportato in figura. Il contributo della riflessione di facciata è inglobato nella restituzione effettuata dal modello.

I risultati delle simulazioni saranno confrontati con i limiti imposti dal DPCM del 14 novembre 1997, laddove presente, o in alternativa con i limiti imposti dal DPCM 1° marzo 1991.

2.1.2.4 Caratterizzazione acustica dei cantieri e delle sorgenti sonore

L'alterazione del clima acustico dell'area durante la realizzazione delle opere è riconducibile, a carattere generale, alle diverse fasi di lavorazione che caratterizzano i lavori previsti.

Le emissioni acustiche durante le lavorazioni possono essere di tipo continuo, legate agli impianti fissi nei diversi cantieri stabili, e discontinue, dovute alle lavorazioni sulla linea ed al transito dei mezzi per la movimentazione dei materiali. L'entità degli impatti è molto variabile in relazione alla conformazione del territorio, alle opere accessorie che vengono costruite, agli eventuali ostacoli presenti.

La molteplicità delle sorgenti, degli ambienti e delle posizioni di lavoro tipiche in cantieri di questo genere individua numerose tipologie di macchinari ed attività la cui contemporaneità, oltre che intensità, determina un certo grado di complessità nel poter rappresentare con precisione l'impatto acustico indotto dalla realizzazione delle opere sui ricettori presenti nella zona di studio. Per il caso in esame, l'analisi della componente rumore nell'ambito delle attività di cantiere può essere svolta rispetto a una macrotipologia di lavorazioni: quelle relative ai *cantieri mobili*.

I **cantieri mobili** (Fronte Avanzamento Lavori) sono stati schematizzati come sorgenti di tipo aereo. La potenza sonora distribuita (L_w/m^2) è stata calcolata considerando il contributo di tutte le singole sorgenti presenti, mediato sul tempo di impegno delle stesse, e distribuendolo su un fronte di avanzamento standard di 100 metri. I cantieri mobili, all'interno del modello di simulazione, sono stati considerati attivi o spenti a seconda dei diversi scenari di simulazione considerati, definiti sull'analisi temporale delle attivazioni delle aree di cantiere stesse e nel seguito illustrati nel dettaglio.

Ai fini dell'analisi delle interferenze di tipo acustico, utile per la definizione dei diversi scenari di simulazione, si considerano le fasi di lavoro e le sorgenti di maggiore emissione rumorosa in zone con presenza di ricettori abitativi. Si ritengono dunque non impattanti tutte le fasi di lavoro e le aree di cantiere dove non vi sia presenza costante di macchinari rumorosi o che si trovino a distanza tale dai ricettori da essere ininfluenti sul clima acustico. Ciò premesso, le attività previste da cronoprogramma per i cantieri mobili, ritenute maggiormente impattanti dal punto di vista acustico e sulla base delle considerazioni non appena esposte, sono:

- attività di **Realizzazione pile del viadotto**, prevista nel periodo diurno;
- attività di **Assemblaggio e posa in notturna**, prevista nel periodo notturno (una notte ad impalcato).

Di seguito si riporta la suddivisione temporale delle suddette attività, articolata in base ai cantieri mobili attivi in esse coinvolti.

Tabella 6. Articolazione temporale delle lavorazioni ritenute maggiormente impattanti e relativi cantieri mobili attivi

Realizzazione pile viadotto	
Cantieri mobili attivi <i>(in blu cantieri del lotto 1, in rosso del lotto 2)</i>	Periodo
E1	I Semestre - Anno 2027
C4-C5-D5	II Semestre - Anno 2027
C2-C3-C4-C5-D4-D5	I Semestre - Anno 2028
B5-C1-C2-C3-D1-D2-D4	II Semestre - Anno 2028
B2-B3-B4-B5-C1-D1-D2-D3-A0-A1	I Semestre - Anno 2029
B2-B3-B4-D3-A0-A1-A2-A3	II Semestre - Anno 2029
A2-A3-A4-A5	I Semestre - Anno 2030
A4-A5	II Semestre - Anno 2030

Realizzazione pile viadotto	
Cantieri mobili attivi <i>(in blu cantieri del lotto 1, in rosso del lotto 2)</i>	Periodo
B0-B1	I Semestre - Anno 2031
B0	II Semestre - Anno 2031
Assemblaggio e posa in notturna, una notte ad impalcato	
Cantieri mobili attivi <i>(in blu cantieri del lotto 1, in rosso del lotto 2)</i>	Periodo
E1	I Semestre – Anno 2027
C4-C5-D5	I Semestre - Anno 2028
C2-C3-C5-D4	II Semestre – Anno 2028
B5-C1-D1-D2	I Semestre - Anno 2029
B2-B3-B4-B5-C1-D1-D2-D3-A0-A1	II Semestre - Anno 2029
D3-A2-A3	I Semestre - Anno 2030
A2-A3-A4-A5	II Semestre - Anno 2030
A4-A5-B1	I Semestre - Anno 2031
B0-B1	II Semestre - Anno 2031

Il tener conto della diversa articolazione temporale prevista per l'attivazione delle diverse aree di cantiere mobile, permette la creazione di scenari di simulazione riferiti a fasi temporali diverse, che consentono dunque di valutare meglio l'effettiva entità delle opere di mitigazione eventualmente necessarie.

Come anticipato sopra, poiché l'organizzazione interna dei cantieri, i macchinari e gli impianti presenti al loro interno sono solo ipotizzati nella presente fase progettuale, si è operato in maniera quanto più realistica possibile nel definire una loro caratterizzazione acustica, con ipotesi adeguatamente cautelative, basate su analisi pregresse di cantieri analoghi a quelli qui considerati per la costruzione di opere ferroviarie. Sulla base di ciò e in considerazione delle lavorazioni previste, per ciascun cantiere mobile coinvolto sono stati dunque ipotizzati i macchinari utilizzati, la loro percentuale di utilizzo nell'arco della lavorazione e l'eventuale contemporaneità nell'utilizzo.

In particolare, si ipotizza che le sorgenti di rumore presenti sui cantieri mobili coinvolti, ed i rispettivi valori di emissione sonora, siano quelle indicate nella tabella seguente. Si prevede in generale un tempo di attività dei macchinari pari a 6 ore in periodo diurno e al massimo di 3 ore in periodo notturno. I dati di potenza sonora delle macchine sono desunti da misure effettuate presso analoghi cantieri Italferr, da dati bibliografici, da dati tecnici delle macchine, o da valori massimi prescritti dalla normativa (D. Lgs. 262/2002)

Tabella 7. Mezzi di cantiere e relativa potenza acustica LwA [dB(A)]

Macchinari	LwA [dB(A)]
Palificatrice (150-250 kW)	105,0
Auto gru (100-300 kW)	104,0

Macchinari	LwA [dB(A)]
Pompa cls	100,0
Escavatore	106,0
Autocarro	97,1
Auto gru (100-300 kW)	104,0
Autocarro	97,1
Auto gru (100-300 kW)	104,0
Escavatore	106,0
Autocarro	97,1
Pompa cls	100,0

Considerando le potenze acustiche dei macchinari previsti appena riportate, il loro tempo di utilizzo e l'area di fronte avanzamento lavori, sono state ipotizzate le seguenti caratterizzazioni acustiche per i cantieri mobili coinvolti nelle due lavorazioni considerate, da applicare come dato input all'interno del modello di simulazione:

Tabella 8. Lavorazione FAL Realizzazione Pile viadotto

FAL – Realizzazione Pile viadotto							
Mezzi	LwA [dB(A)]	Unità	LwA Tot [dB(A)]	Lw' FAL 100 m ²	Ore di lavoro [h]	LwA eq Tot [dB(A)]	Lw' FAL 100 m ²
Palificatrice (150-250 kW)	105	1	105,0	90,9	6	100,7	86,6
Auto gru (100-300 kW)	104	1	104,0		6	99,7	
Pompa cls	100	1	100,0		6	95,7	
Escavatore	106	1	106,0		6	101,7	
Autocarro	97,1	3	101,9		6	97,6	

Tabella 9. Lavorazione FAL Assemblaggio e posa in notturna

FAL – Assemblaggio e posa in notturna, una notte ad impalcato							
Mezzi	LwA [dB(A)]	Unità	LwA Tot [dB(A)]	Lw' FAL 100m	Ore di lavoro [h]	LwA eq Tot [dB(A)]	Lw' FAL 100m
Auto gru (100-300 kW)	104	2	107,0	88,2	2	101,0	82,6
Autocarro	97,1	3	101,9		3	97,6	

2.1.2.5 Scenari di simulazione

Dall'analisi del cronoprogramma fornito, ed in particolare dell'articolazione temporale prevista per le attivazioni delle diverse aree di cantiere mobile coinvolte nel corso dei diversi semestri, si è proceduto ad individuare le fasi in cui si assiste alla massima contemporaneità di attivazione delle aree stesse. Per la definizione di scenari di simulazione opportunamente cautelativi e rappresentativi, le fasi di durata semestrale che da cronoprogramma risultano condividere l'attivazione di una stessa area di cantiere sono state incluse nello stesso scenario di simulazione; le singole aree isolate la cui attivazione non risulta contemporanea a quella di nessun'altra, sono state simulate, in un'ottica cautelativa, insieme alle aree interessate da contemporaneità ad esse maggiormente prossime.

Dall'analisi effettuata secondo i criteri appena esposti, sono stati definiti dunque i seguenti quattro scenari di simulazione:

Nome scenario	Periodo	Attività inclusa	Cantieri mobili attivi
Scenario 1a	diurno	Realizzazione pile viadotto (attività 1)	E1-D5-D4-C5-C4-C3-C2 (gruppo a)
Scenario 1b	diurno	Realizzazione pile viadotto (attività 1)	D3-D2-D1-C1-B5-B4-B3-B2-B1-B0- -A5-A4-A3-A2-A1-A0 (gruppo b)
Scenario 2a	notturno	Assemblaggio e posa in notturna, una notte ad impalcato (attività 2)	E1-D5-D4-C5-C4-C3-C2 (gruppo a)
Scenario 2b	notturno	Assemblaggio e posa in notturna, una notte ad impalcato (attività 2)	D3-D2-D1-C1-B5-B4-B3-B2-B1-B0- -A5-A4-A3-A2-A1-A0 (gruppo b)

Gli scenari di simulazione definiti, si differenziano per tipologia di attività inclusa (l'attività 1 di realizzazione pile e l'attività 2, di assemblaggio e posa in notturno) e per diversa articolazione temporale (il gruppo di aree con attività previste negli anni 2027 – 2029 e appartenenti al solo Lotto 1 è indicato come *gruppo a*, il gruppo di aree con attività previste negli anni 2029 – 2031 e appartenenti sia al Lotto 1 che al Lotto 2, è indicato come *gruppo b*).

Sulla base delle simulazioni acustiche calcolate in base ai suddetti scenari saranno valutate le opportune mitigazioni al fine di abbattere quanto più possibile, i livelli in facciata ai ricettori.

2.1.2.6 Inquadramento territoriale aree di cantiere

La cantierizzazione della nuova Skymetro e delle opere connesse in base alla localizzazione delle stesse, alla morfologia dell'ambiente circostante, al tessuto urbano attraversato, alle interferenze con infrastrutture esistenti e alle metodologie costruttive ipotizzate, è stata concepita individuando 5 Macro-cantieri relativi principalmente alle lavorazioni di linea:

- Macrocantiere A che va dal capolinea Molassana al ponte Ugo Galli;
- Macrocantiere B che va dal ponte Ugo Galli a via Laiasso;
- Macrocantiere C che va da via Laiasso a via Enrico Toti;
- Macrocantiere D che va da via Enrico Toti al ponte di Castelfidardo;
- Macrocantiere E relativamente alla nuova fermata Brignole Sant'Agata e alle opere di riconnessione alla linea esistente.

Alcuni di questi macro-cantieri in base alle viabilità di accesso, alla viabilità esistente e alla sequenza temporale di realizzazione delle opere, sono stati suddivisi in cantieri più piccoli relativi principalmente alla realizzazione delle opere puntuali propedeutiche alle lavorazioni di linea.

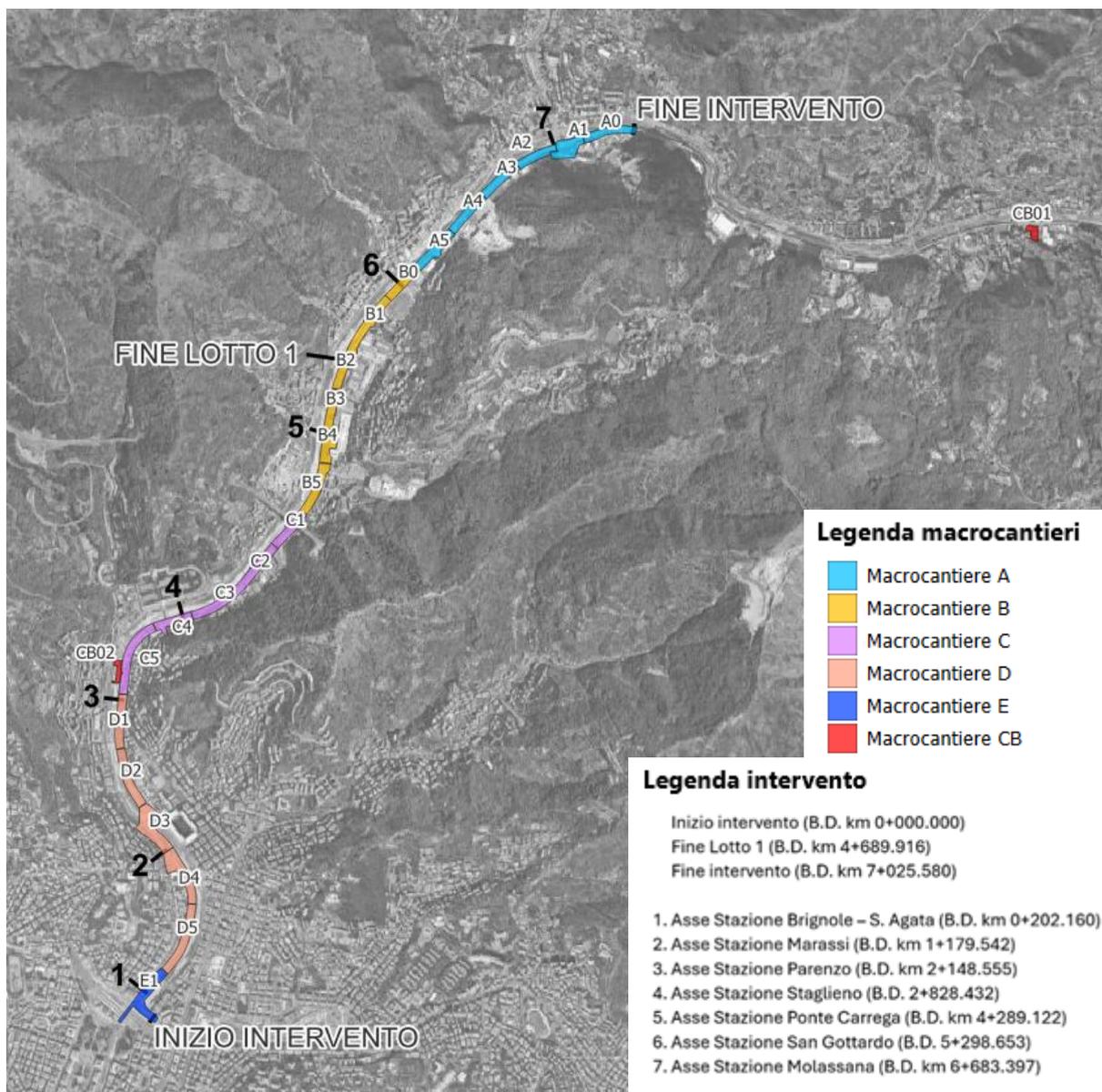


Figura 5. Inquadramento territoriale aree di cantiere

2.1.2.7 Inquadramento acustico aree di cantiere

Come descritto nei capitoli precedenti il comune di Genova ha approvato il piano di classificazione acustica tramite la Delibera del Consiglio Comunale n. 51 del 08/09/2020. Si riporta di seguito il PCCA di Genova in sovrapposizione alle aree dove saranno presenti i macro-cantieri, al fine di evidenziare la collocazione degli edifici limitrofi alle aree e la loro classificazione acustica.

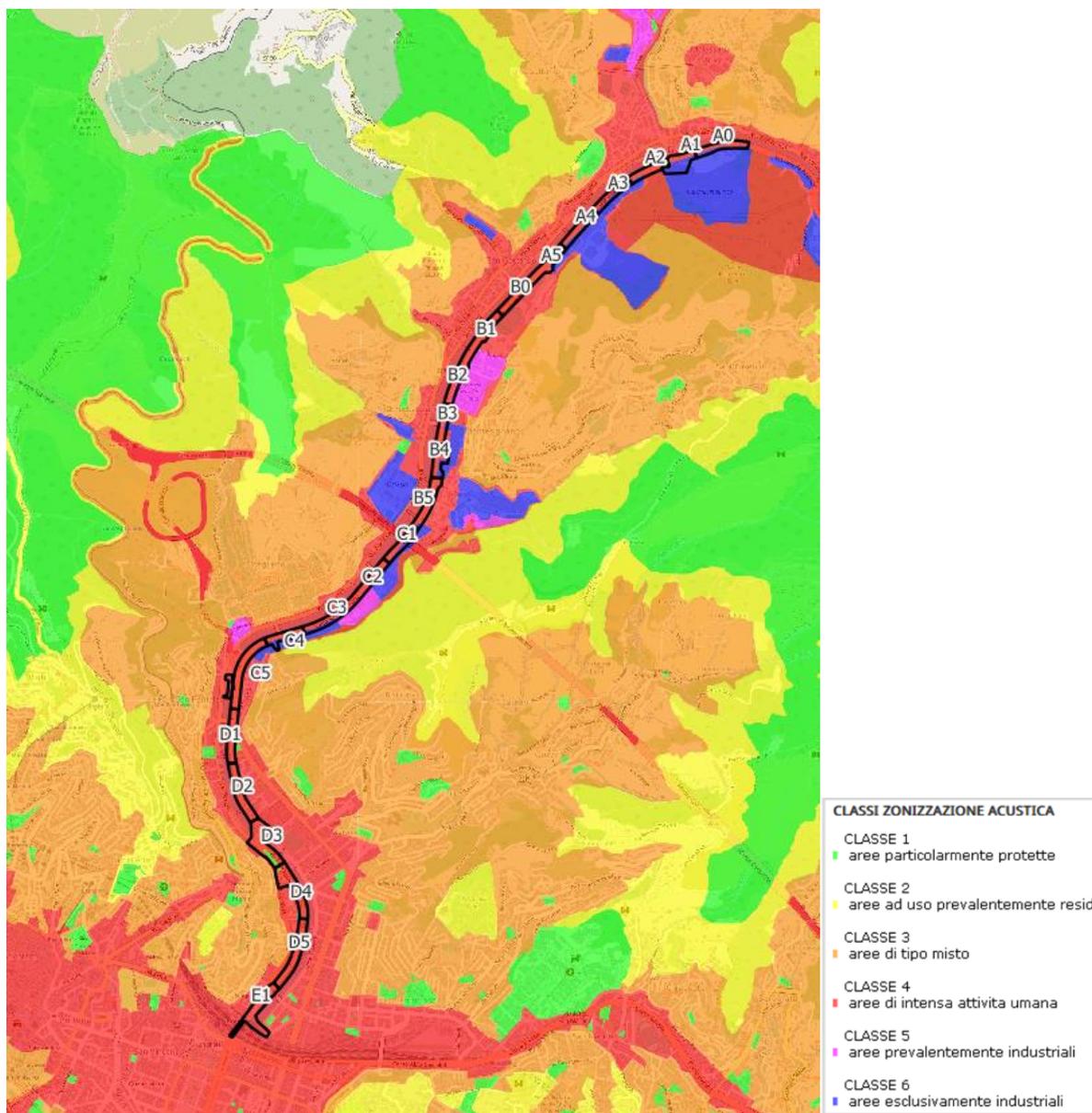


Figura 6. Stralcio piano di classificazione acustica aree di cantiere

Come si evince dallo stralcio del PCCA le zone in cui si inseriscono le aree di cantiere sono collocate dal PCCA in classe IV, V e VI, con limiti di emissione rispettivamente di 60 dB(A), 65 dB(A) e 65 dB(A) per il periodo diurno, e di 50 dB(A), 55 dB(A) e 55 dB(A) per il periodo notturno.

2.1.2.8 Risultati delle simulazioni acustiche

Si riportano alle pagine successive i risultati delle simulazioni acustiche i quattro scenari di simulazione individuati nei paragrafi precedenti. Tali risultati, come anticipato, si riferiscono alle condizioni di emissione maggiormente penalizzanti in termini di impegno delle sorgenti ed avvicinamento ai ricettori; queste situazioni costituiscono di fatto dei casi limite che si verificheranno in periodi estremamente circoscritti, mentre per la maggior parte della durata delle attività di cantiere i livelli saranno più contenuti. I risultati proposti nelle mappature, riferiti alla situazione estrema di cui sopra, mostrano in alcuni casi livelli acustici consistenti in facciata in virtù dell'entità delle lavorazioni svolte, come sarà di volta in volta segnalato nei commenti dedicati ai singoli scenari. Al fine di contenere l'impatto ambientale (in termini non solo di emissioni acustiche, ma anche di impatto paesaggistico e di contenimento delle emissioni polverulente) nelle aree di cantiere si è pertanto proceduto a definire opere di mitigazione di tipo schermante (barriere antirumore). Le caratteristiche di tali elementi, i criteri utilizzati per stabilire il posizionamento nonché i risultati della modellazione in presenza degli stessi saranno mostrati nei paragrafi successivi. La legenda per la classificazione degli edifici è mostrata di seguito.

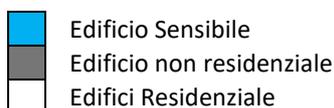


Figura 7. Legenda edifici

Si riporta di seguito i layout di presentazione dei risultati dei diversi scenari, delineati in base ai differenti gruppi di aree di cantiere in essi coinvolte e suddivisi per quadranti specifici al fine di analizzare in dettaglio le isofoniche ai ricettori:



Figura 8. Layout inquadramento aree di calcolo per gli Scenari 1a e 2a

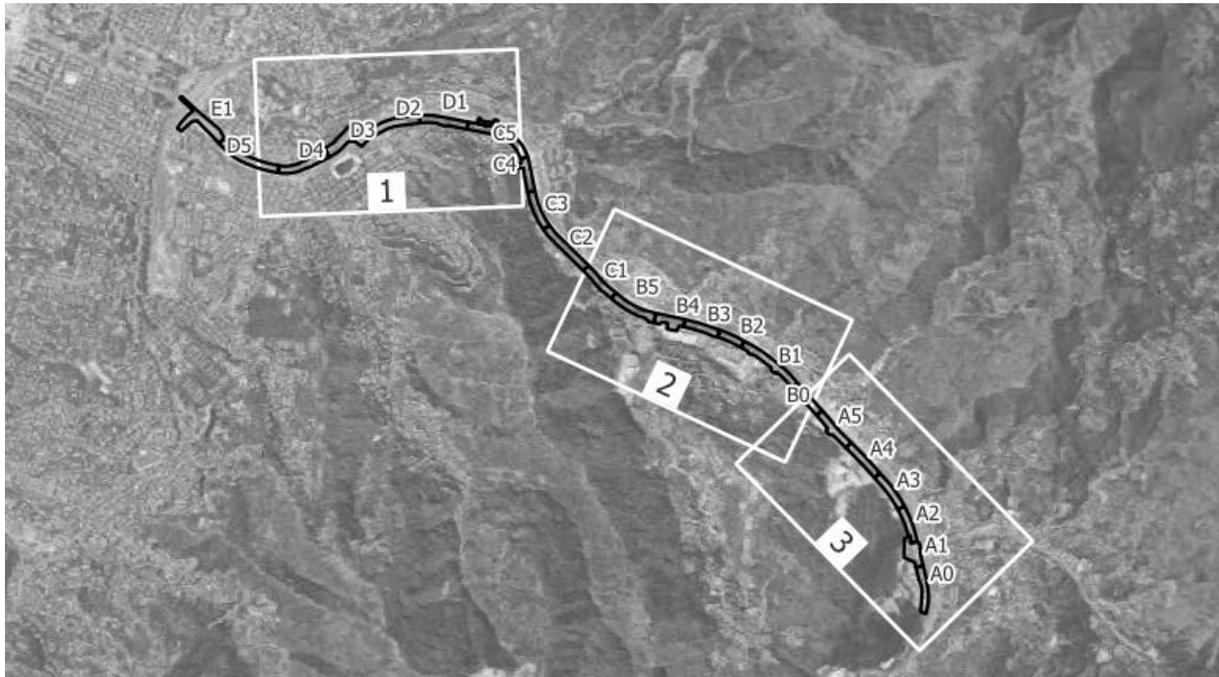


Figura 9. Layout inquadramento aree di calcolo gli Scenari 1b e 2b

2.1.2.8.1 Scenario 1a – Realizzazione pile viadotto – Aree gruppo a

Tale scenario di simulazione riguarda il solo periodo di riferimento diurno. Le zone in cui si inseriscono le aree di cantiere sono collocate dal PCCA principalmente in classe IV e V, con limiti di emissione diurni rispettivamente di 60 dB(A), 65 dB(A).

Si riportano di seguito gli stralci delle simulazioni per lo Scenario 1a in assenza di elementi mitigativi.



Figura 10. Mappa di simulazione acustica – Scenario 1a

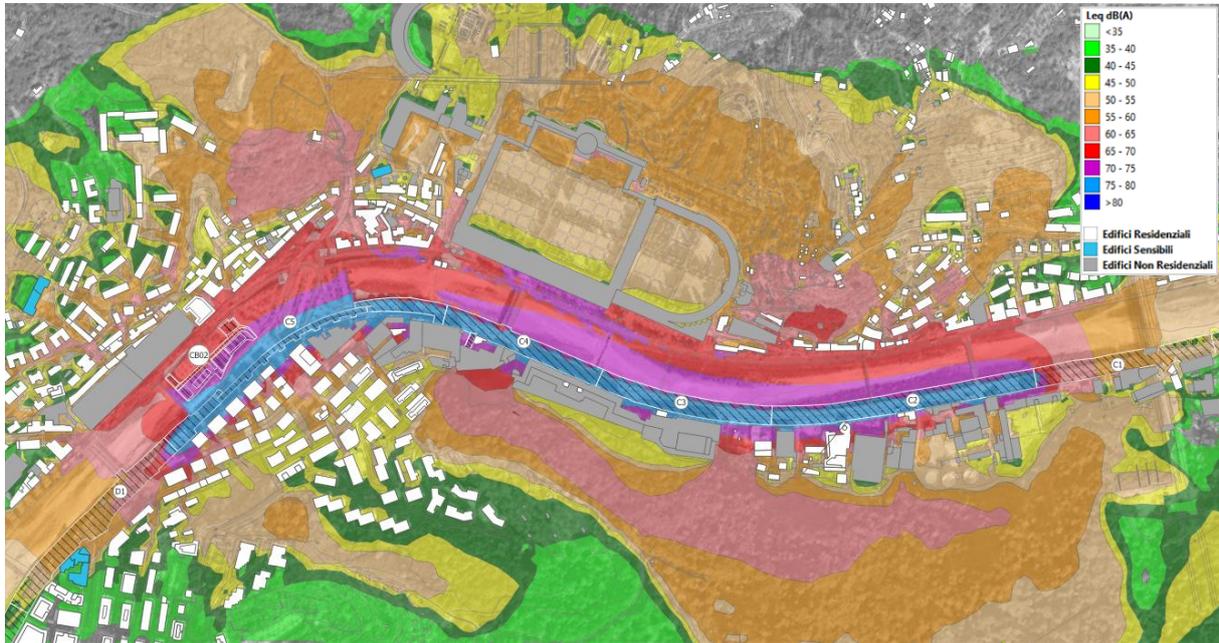


Figura 11. Mappa di simulazione acustica – Scenario 1a

2.1.2.8.2 Scenario 1b – Realizzazione pile viadotto – Aree gruppo b

Tale scenario di simulazione riguarda il solo periodo di riferimento diurno. Le zone in cui si inseriscono le aree di cantiere sono collocate dal PCCA principalmente in classe IV, V e VI, con limiti di emissione diurni rispettivamente di 60 dB(A), 65 dB(A) e 65 dB(A).

Si riportano di seguito gli stralci delle simulazioni per lo Scenario 1b in assenza di elementi mitigativi.

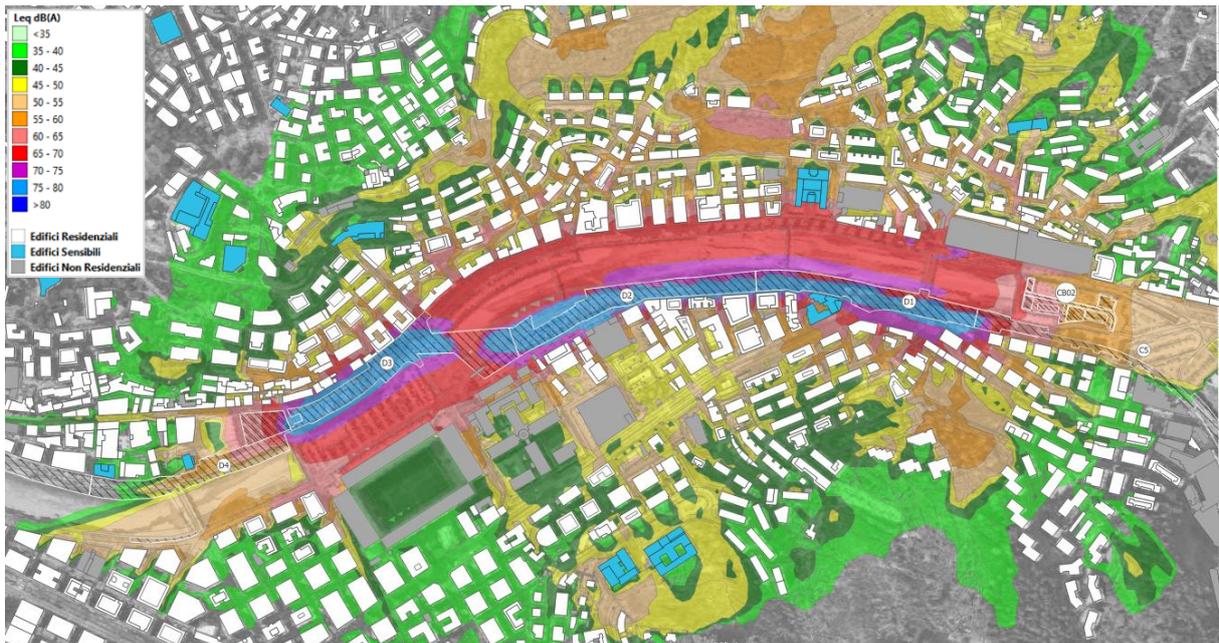


Figura 12. Mappa di simulazione acustica – Scenario 1b

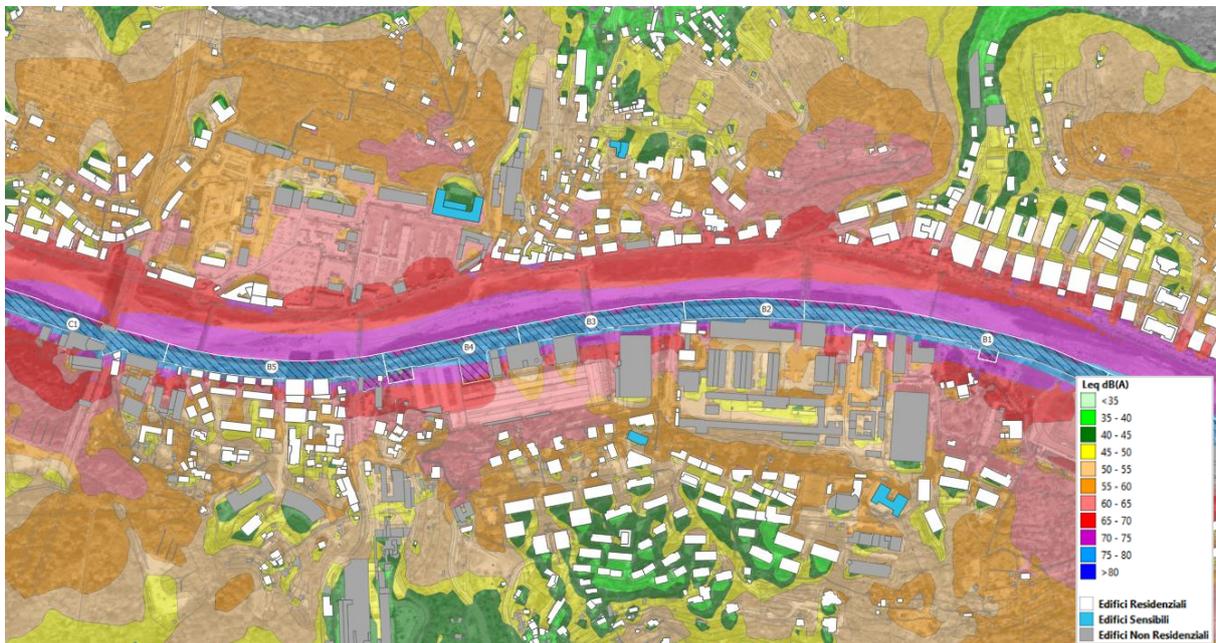


Figura 13. Mappa di simulazione acustica – Scenario 1b

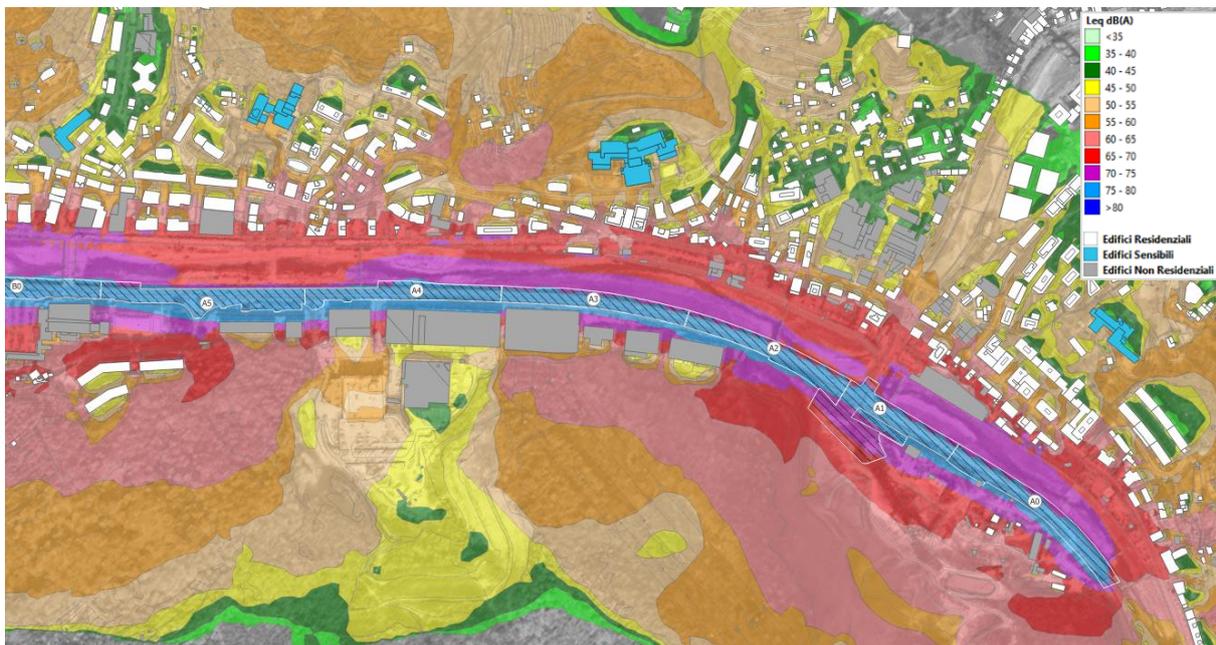


Figura 14. Mappa di simulazione acustica – Scenario 1b

2.1.2.8.3 Scenario 2a – Assemblaggio e posa impalcato – Aree gruppo a

Tale scenario di simulazione riguarda il solo periodo di riferimento notturno. Le zone in cui si inseriscono le aree di cantiere sono collocate dal PCCA principalmente in classe IV e V, con limiti di emissione notturni rispettivamente di 50 dB(A), 55 dB(A).

Si riportano di seguito gli stralci delle simulazioni per lo Scenario 2a in assenza di elementi mitigativi.



Figura 15. Mappa di simulazione acustica – Scenario 2a



Figura 16. Mappa di simulazione acustica – Scenario 2a

2.1.2.8.4 Scenario 2b – Assemblaggio e posa impalcato – Aree gruppo b

Tale scenario di simulazione riguarda il solo periodo di riferimento notturno. Le zone in cui si inseriscono le aree di cantiere sono collocate dal PCCA principalmente in classe IV, V e VI, con limiti di emissione notturni rispettivamente di 50 dB(A), 55 dB(A) e 65 dB(A).

Si riportano di seguito gli stralci delle simulazioni per lo Scenario 2b in assenza di elementi mitigativi.

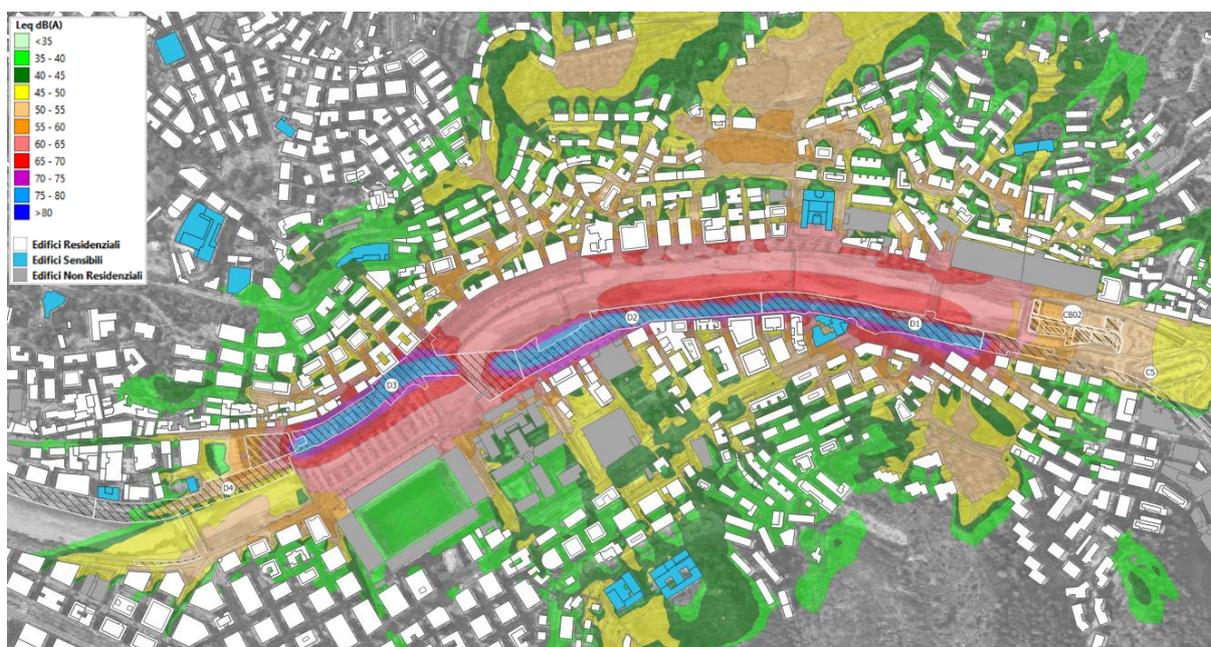


Figura 17. Mappa di simulazione acustica – Scenario 2b



Figura 18. Mappa di simulazione acustica – Scenario 2b

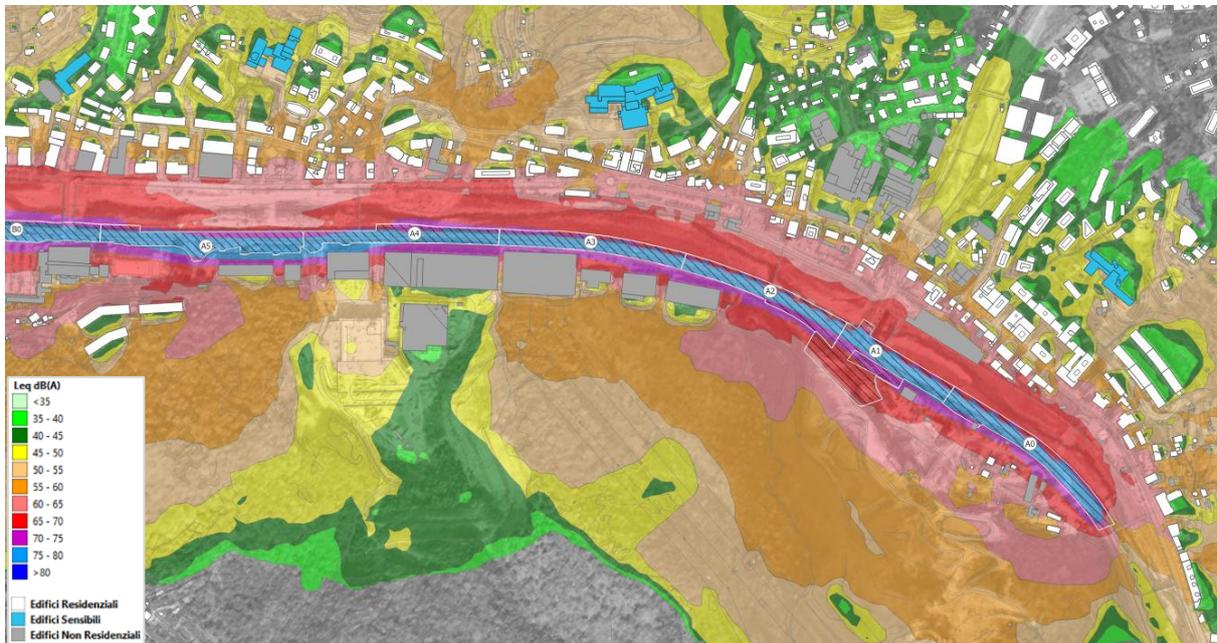


Figura 19. Mappa di simulazione acustica – Scenario 2b



2.1.2.8.5 Considerazioni sui risultati ante mitigazione

Come si evince dalle mappe di simulazione, i risultati ottenuti hanno evidenziato che per la maggior parte delle aree di cantiere vi è la necessità di utilizzare delle barriere antirumore. I superamenti osservati riguardano in particolare il primo fronte di edifici immediatamente esposto alle lavorazioni previste. Per le aree di cantiere A0, A1, A2, A3 e A4 si riscontrano dei possibili superamenti sulla riva del Bisagno opposta rispetto alle lavorazioni, sulla quale sono presenti edifici residenziali: in questo caso non sono stati previsti elementi mitigativi per la difficoltà della loro messa in opera nelle immediate vicinanze del corso d'acqua; per tutte le restanti aree di cantiere mobili è possibile inserire interventi mitigativi, descritti nel dettaglio nei paragrafi che seguono.

2.1.2.9 *Barriere antirumore in corrispondenza dei ricettori prossimi alle aree di cantiere*

Sulla base delle considerazioni precedenti, per contrastare il superamento dei limiti normativi e ricondurre i livelli di pressione sonora entro i valori soglia previsti dai vigenti strumenti di zonizzazione acustica comunale, in corrispondenza dei ricettori maggiormente esposti al rumore si prevede che vengano installate:

- barriere antirumore mobili di altezza pari a 3 m.

Le barriere antirumore potranno svolgere anche un'azione di mitigazione diretta nei confronti delle emissioni di polveri.

In particolare, sulla base dei risultati delle simulazioni acustiche effettuate lungo il perimetro delle aree di cantiere e lavoro prospicienti i ricettori più prossimi, si ipotizza nella presente fase progettuale l'installazione delle seguenti tipologie di barriere:

- Barriere FAL: le barriere FAL vengono quantificate in base a due elementi, la lunghezza del FAL, e la quantità di barriere che verranno utilizzate in contemporanea per ogni scenario; quest'ultima situazione equivale alla situazione più critica, in cui se per uno stesso scenario di lavoro sono presenti più fronti di lavoro, si ipotizza che essi avanzino in contemporanea. Per quantificare le barriere per ogni FAL, sono state fatte le seguenti assunzioni: se la lunghezza del FAL è inferiore a 100 m, la lunghezza impiegata in contemporanea sarà la lunghezza del FAL stesso, se il FAL è maggiore di 100 m la lunghezza impiegata in contemporanea sarà 100 m. Tali assunzioni sono le stesse fatte per la quantificazione eseguita nel computo metrico.

A valle delle precedenti considerazioni si ipotizzano le seguenti barriere FAL:

- 1554 m di Barriere impiegate in contemporanea nel caso dello *Scenario 1a* e dello *Scenario 2a*;
- 981 m di Barriere impiegate in contemporanea nel caso dello *Scenario 1b* e dello *Scenario 2b*.

Queste due quantità, il cui calcolo è esplicitato nelle tabelle riportate nel seguito, potranno essere utilizzate per quantificare le barriere e quindi i materiali da "noleggiare" per ciascuno scenario di lavoro, considerando che le barriere FAL saranno smontate e rimontate seguendo l'avanzamento del fronte lavori.

Nella figura sottostante si riporta lo schema tipologico delle barriere antirumore di altezza pari a 3 m.

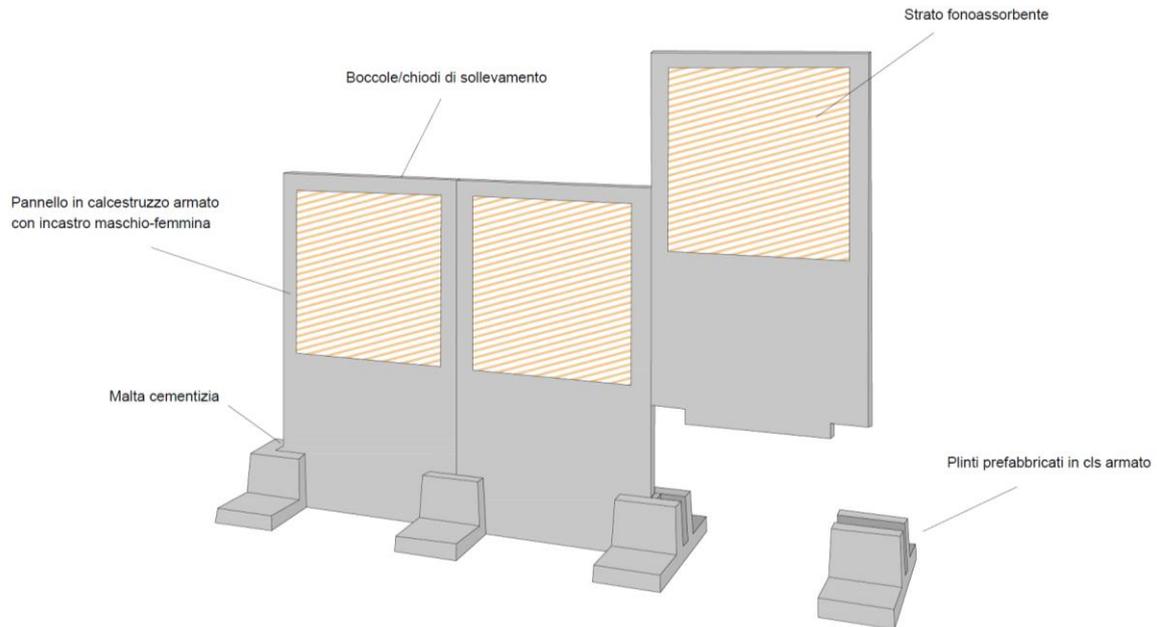


Figura 20. Barriere antirumore sezione tipologica

Di seguito le mitigazioni previste per le diverse aree di cantiere per i diversi periodi di attività, suddivisi come da cronoprogramma per semestre.

Tabella 10. Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m

Barriere I Semestre - Anno 2027				
ID	Ubicazione	Tipo	Lunghezza FAL [m]	Lunghezza impegnata contemporaneamente
BA-E1-001	Lungo fronte avanzamento E1	Mobile (segue FAL)	23	23
BA-E1-002	Lungo fronte avanzamento E1	Mobile (segue FAL)	208	100
Totale			231	557

Tabella 11. Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m

Barriere II Semestre - Anno 2027				
ID	Ubicazione	Tipo	Lunghezza FAL [m]	Lunghezza impegnata contemporaneamente
BA-D5-001	Lungo fronte avanzamento D5	Mobile (segue FAL)	154	100
BA-C4-001	Lungo fronte avanzamento C4	Mobile (segue FAL)	189	100
BA-C5-001	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	536	100
BA-C5-002	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	108	100
BA-C5-003	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	259	100
BA-C5-004	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	57	57
Totale			1304	557

Tabella 12. Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m

Barriere I Semestre - Anno 2028				
ID	Ubicazione	Tipo	Lunghezza FAL [m]	Lunghezza impegnata contemporaneamente
BA-D4-001	Lungo fronte avanzamento D4	Mobile (segue FAL)	375	100
BA-D5-001	Lungo fronte avanzamento D5	Mobile (segue FAL)	154	100
BA-C2-001	Lungo fronte avanzamento C2	Mobile (segue FAL)	391	100
BA-C3-001	Lungo fronte avanzamento C3	Mobile (segue FAL)	264	100
BA-C4-001	Lungo fronte avanzamento C4	Mobile (segue FAL)	189	100
BA-C5-001	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	536	100
BA-C5-002	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	108	100
BA-C5-003	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	259	100
BA-C5-004	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	57	57
Totale			2333	857

Tabella 13. Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m

Barriere II Semestre - Anno 2028				
ID	Ubicazione	Tipo	Lunghezza FAL [m]	Lunghezza impegnata contemporaneamente
BA-B5-001	Lungo fronte avanzamento B5	Mobile (segue FAL)	299	100
BA-C1-001	Lungo fronte avanzamento C1	Mobile (segue FAL)	96	96
BA-C1-002	Lungo fronte avanzamento C1	Mobile (segue FAL)	46	46
BA-C2-001	Lungo fronte avanzamento C2	Mobile (segue FAL)	391	100
BA-C5-001	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	536	100
BA-C5-002	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	108	100
BA-C5-003	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	259	100
BA-C5-004	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	57	57
BA-C3-001	Lungo fronte avanzamento C3	Mobile (segue FAL)	264	100
BA-D1-001	Lungo fronte avanzamento D1	Mobile (segue FAL)	157	100
BA-D1-002	Lungo fronte avanzamento D1	Mobile (segue FAL)	151	100
BA-D2-001	Lungo fronte avanzamento D2	Mobile (segue FAL)	367	100
BA-D2-002	Lungo fronte avanzamento D2	Mobile (segue FAL)	151	100
BA-D4-001	Lungo fronte avanzamento D4	Mobile (segue FAL)	375	100
Totale			3257	1300

Tabella 14. Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m

Barriere I Semestre - Anno 2029				
ID	Ubicazione	Tipo	Lunghezza FAL [m]	Lunghezza impegnata contemporaneamente
BA-B2-001	Lungo fronte avanzamento B2	Mobile (segue FAL)	250	100
BA-B3-001	Lungo fronte avanzamento B3	Mobile (segue FAL)	222	100
BA-B4-001	Lungo fronte avanzamento B4	Mobile (segue FAL)	300	100
BA-B5-001	Lungo fronte avanzamento B5	Mobile (segue FAL)	299	100
BA-C1-001	Lungo fronte avanzamento C1	Mobile (segue FAL)	96	96
BA-C1-002	Lungo fronte avanzamento C1	Mobile (segue FAL)	46	46
BA-D1-001	Lungo fronte avanzamento D1	Mobile (segue FAL)	157	100
BA-D1-002	Lungo fronte avanzamento D1	Mobile (segue FAL)	151	100
BA-D2-001	Lungo fronte avanzamento D2	Mobile (segue FAL)	367	100
BA-D2-002	Lungo fronte avanzamento D2	Mobile (segue FAL)	151	100

Barriere I Semestre - Anno 2029

ID	Ubicazione	Tipo	Lunghezza FAL [m]	Lunghezza impegnata contemporaneamente
BA-D3-001	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	30	30
BA-D3-002	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	43	43
BA-D3-003	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	281	100
BA-D3-004	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	39	39
Totale			2393	1154

Tabella 15. Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m

Barriere II Semestre - Anno 2029

ID	Ubicazione	Tipo	Lunghezza FAL [m]	Lunghezza impegnata contemporaneamente
BA-B2-001	Lungo fronte avanzamento B2	Mobile (segue FAL)	250	100
BA-B3-001	Lungo fronte avanzamento B3	Mobile (segue FAL)	222	100
BA-B4-001	Lungo fronte avanzamento B4	Mobile (segue FAL)	300	100
BA-B5-001	Lungo fronte avanzamento B5	Mobile (segue FAL)	299	100
BA-C1-001	Lungo fronte avanzamento C1	Mobile (segue FAL)	96	96
BA-C1-002	Lungo fronte avanzamento C1	Mobile (segue FAL)	46	46
BA-D1-001	Lungo fronte avanzamento D1	Mobile (segue FAL)	157	100
BA-D1-002	Lungo fronte avanzamento D1	Mobile (segue FAL)	151	100
BA-D2-001	Lungo fronte avanzamento D2	Mobile (segue FAL)	367	100
BA-D2-002	Lungo fronte avanzamento D2	Mobile (segue FAL)	151	100
BA-D3-001	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	30	30
BA-D3-002	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	43	43
BA-D3-003	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	281	100
BA-D3-004	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	39	39
Totale			2432	1154

Tabella 16. Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m

Barriere I Semestre - Anno 2030

ID	Ubicazione	Tipo	Lunghezza FAL [m]	Lunghezza impegnata contemporaneamente
BA-D3-001	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	30	30
BA-D3-002	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	43	43
BA-D3-003	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	281	100
BA-D3-004	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	39	39
BA-A5-001	Lungo fronte avanzamento A5	Mobile (segue FAL)	238	100
BA-A5-002	Lungo fronte avanzamento A5	Mobile (segue FAL)	149	100
Totale			780	412

Tabella 17. Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m

Barriere II Semestre - Anno 2030

ID	Ubicazione	Tipo	Lunghezza FAL [m]	Lunghezza impegnata contemporaneamente
BA-A5-001	Lungo fronte avanzamento A5	Mobile (segue FAL)	238	100
BA-A5-002	Lungo fronte avanzamento A5	Mobile (segue FAL)	149	100
Totale			387	200

Tabella 18. Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m

Barriere I Semestre - Anno 2031				
ID	Ubicazione	Tipo	Lunghezza FAL [m]	Lunghezza impegnata contemporaneamente
BA-B0-001	Lungo fronte avanzamento B0	Mobile (segue FAL)	256	100
BA-B1-001	Lungo fronte avanzamento B1	Mobile (segue FAL)	418	100
BA-A5-001	Lungo fronte avanzamento A5	Mobile (segue FAL)	238	100
BA-A5-002	Lungo fronte avanzamento A5	Mobile (segue FAL)	149	100
Totale			1061	400

Tabella 19. Identificazione barriere antirumore mobili di altezza pari a 3m

Barriere II Semestre - Anno 2031				
ID	Ubicazione	Tipo	Lunghezza FAL [m]	Lunghezza impegnata contemporaneamente
BA-B0-001	Lungo fronte avanzamento B0	Mobile (segue FAL)	256	100
BA-B1-001	Lungo fronte avanzamento B1	Mobile (segue FAL)	418	100
Totale			674	200

Di seguito si riassumono invece le barriere complessive per tutti gli orizzonti temporali, suddivise per scenari di lavoro:

Tabella 20. Identificazione barriere antirumore mobili per gli Scenari 1b e 2b

Scenari 1a - 2a				
ID	Ubicazione	Tipo	Lunghezza FAL [m]	Lunghezza impegnata contemporaneamente
BA-A5-001	Lungo fronte avanzamento A5	Mobile (segue FAL)	238	100
BA-A5-002	Lungo fronte avanzamento A5	Mobile (segue FAL)	149	100
BA-B0-001	Lungo fronte avanzamento B0	Mobile (segue FAL)	256	100
BA-B1-001	Lungo fronte avanzamento B1	Mobile (segue FAL)	418	100
BA-B2-001	Lungo fronte avanzamento B2	Mobile (segue FAL)	250	100
BA-B3-001	Lungo fronte avanzamento B3	Mobile (segue FAL)	222	100
BA-B4-001	Lungo fronte avanzamento B4	Mobile (segue FAL)	300	100
BA-B5-001	Lungo fronte avanzamento B5	Mobile (segue FAL)	299	100
BA-C1-001	Lungo fronte avanzamento C1	Mobile (segue FAL)	96	96
BA-C1-002	Lungo fronte avanzamento C1	Mobile (segue FAL)	46	46
BA-D1-001	Lungo fronte avanzamento D1	Mobile (segue FAL)	157	100
BA-D1-002	Lungo fronte avanzamento D1	Mobile (segue FAL)	151	100
BA-D2-001	Lungo fronte avanzamento D2	Mobile (segue FAL)	367	100
BA-D2-002	Lungo fronte avanzamento D2	Mobile (segue FAL)	151	100
BA-D3-001	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	30	30
BA-D3-002	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	43	43
BA-D3-003	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	281	100
BA-D3-004	Lungo fronte avanzamento D3	Mobile (segue FAL)	39	39
Totale			3492	1554

Tabella 21. Identificazione barriere antirumore mobili per gli Scenari 1b e 2b

Scenari 1b – 2b				
ID	Ubicazione	Tipo	Lunghezza FAL [m]	Lunghezza impegnata contemporaneamente
BA-C2-001	Lungo fronte avanzamento C2	Mobile (segue FAL)	391	100
BA-C3-001	Lungo fronte avanzamento C3	Mobile (segue FAL)	264	100
BA-C4-001	Lungo fronte avanzamento C4	Mobile (segue FAL)	189	100
BA-C5-001	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	536	100
BA-C5-002	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	108	100
BA-C5-003	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	259	100
BA-C5-004	Lungo fronte avanzamento C5	Mobile (segue FAL)	57	57
BA-D4-001	Lungo fronte avanzamento D4	Mobile (segue FAL)	375	100
BA-D5-001	Lungo fronte avanzamento D5	Mobile (segue FAL)	154	100
BA-E1-001	Lungo fronte avanzamento E1	Mobile (segue FAL)	23	23
BA-E1-002	Lungo fronte avanzamento E2	Mobile (segue FAL)	208	100
Totale			2565	981

Nei paragrafi di seguito si riportano i risultati relativi a tutti gli scenari di simulazione, valutati a seguito delle mitigazioni

2.1.2.9.1 Scenario 1a Post Mitigazione – Realizzazione pile viadotto – Aree gruppo a

Di seguito le mappe di simulazione post mitigazione per lo Scenario 1a.

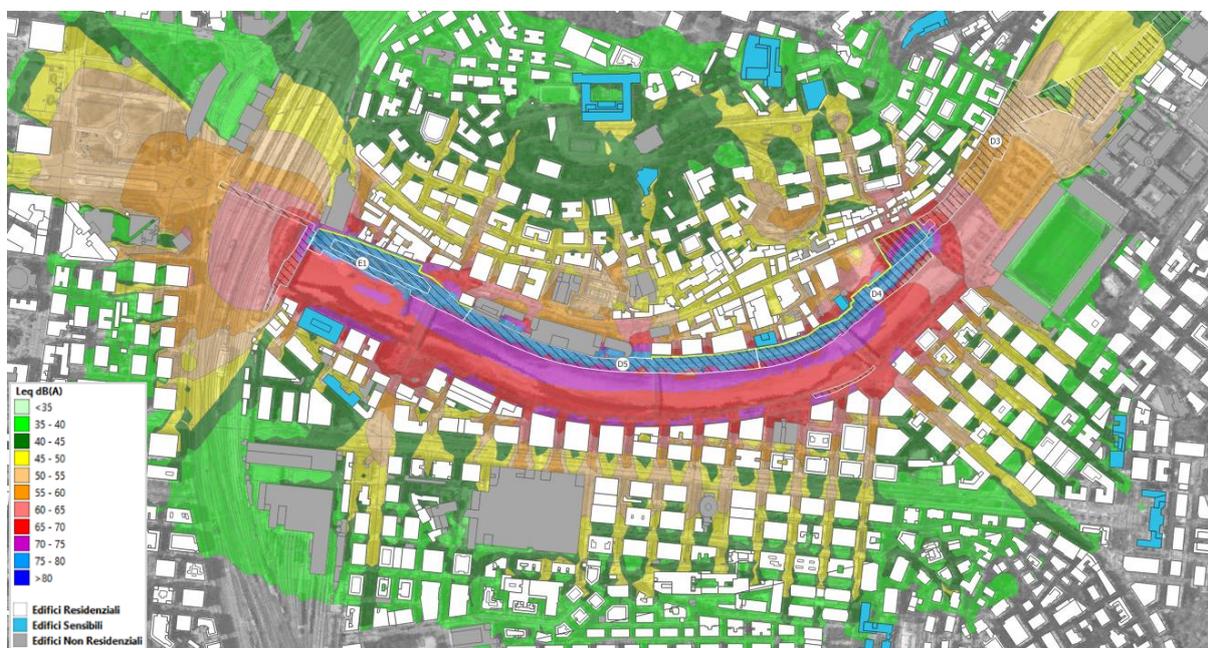


Figura 21. Mappa di simulazione acustica – Scenario 1a Post Mitigazione



Figura 22. Mappa di simulazione acustica – Scenario 1a Post Mitigazione

2.1.2.9.2 Scenario 1b Post Mitigazione – Realizzazione pile viadotto – Aree gruppo b

Di seguito le mappe di simulazione post mitigazione per lo Scenario 1b.

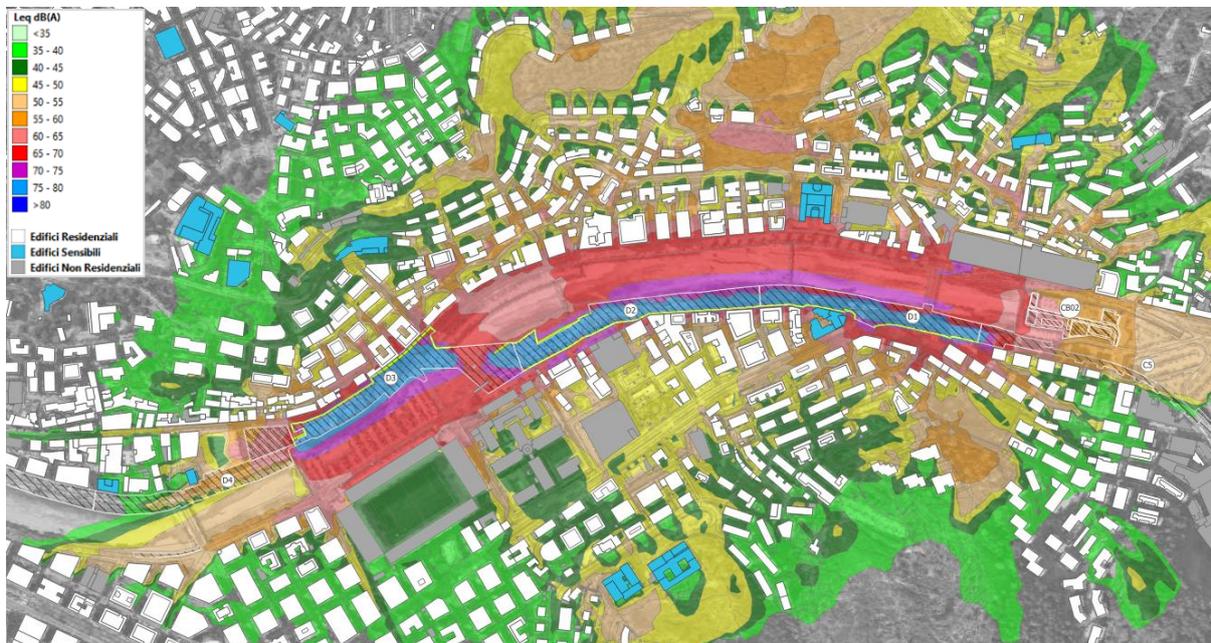


Figura 23. Mappa di simulazione acustica – Scenario 1b Post Mitigazione

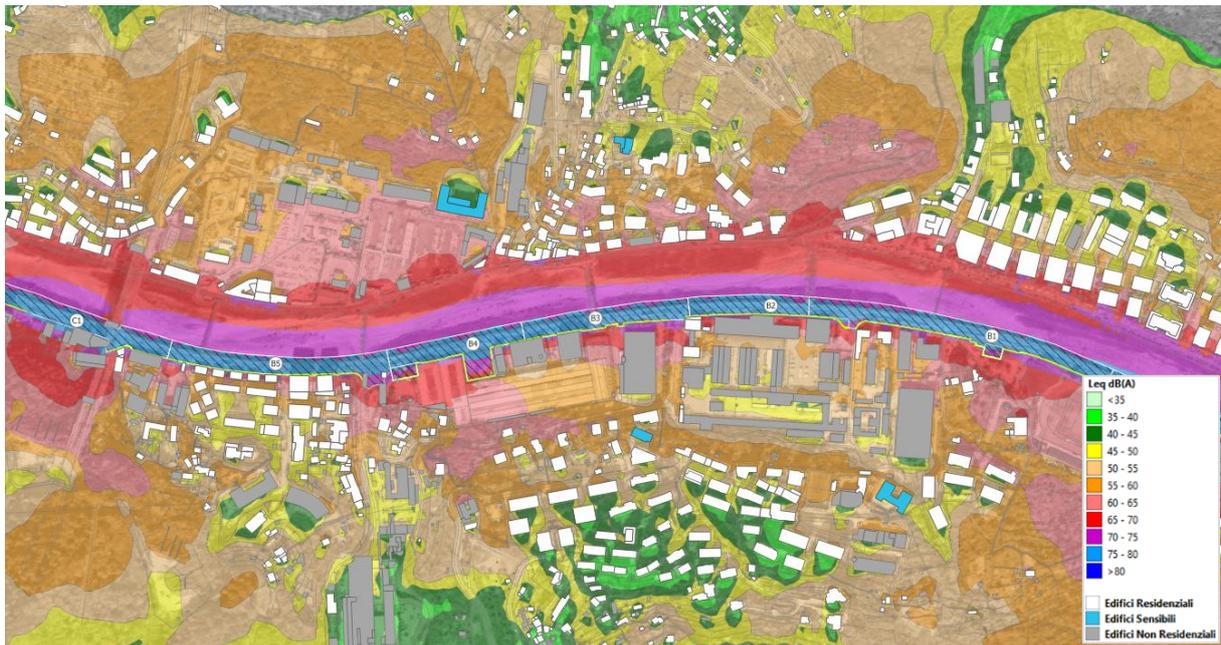


Figura 24. Mappa di simulazione acustica – Scenario 1b Post Mitigazione

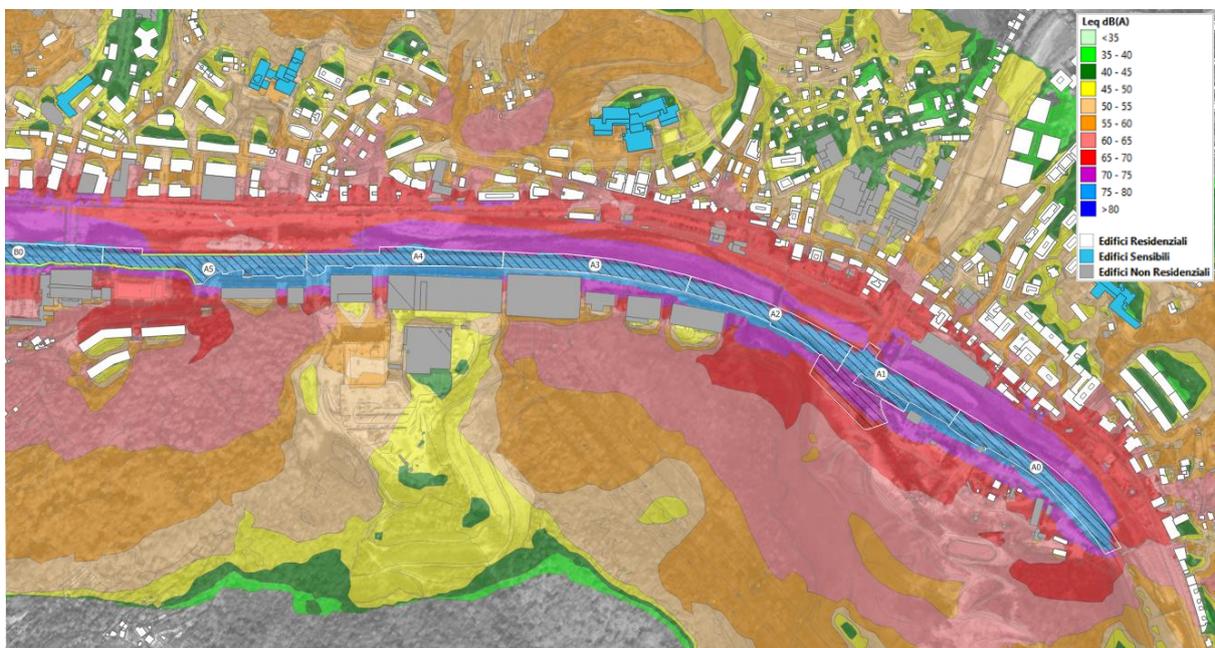


Figura 25. Mappa di simulazione acustica – Scenario 1b Post Mitigazione

2.1.2.9.3 Scenario 2a Post Mitigazione – Assemblaggio e posa impalcato – Aree gruppo a

Di seguito le mappe di simulazione post mitigazione per lo Scenario 2a.



Figura 26. Mappa di simulazione acustica – Scenario 2a Post Mitigazione

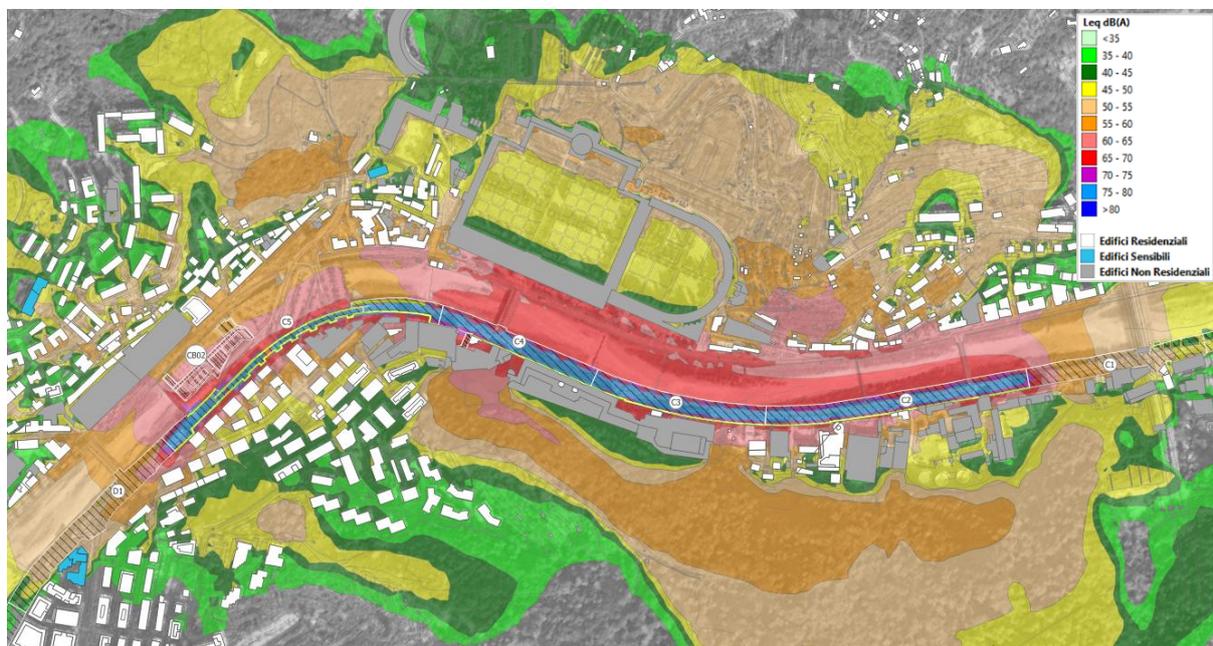


Figura 27. Mappa di simulazione acustica – Scenario 2a Post Mitigazione

2.1.2.9.4 Scenario 2b Post Mitigazione – Assemblaggio e posa impalcato – Aree gruppo b

Di seguito le mappe di simulazione post mitigazione per lo Scenario 2b.



Figura 28. Mappa di simulazione acustica – Scenario 2b Post Mitigazione



Figura 29. Mappa di simulazione acustica – Scenario 2b Post Mitigazione

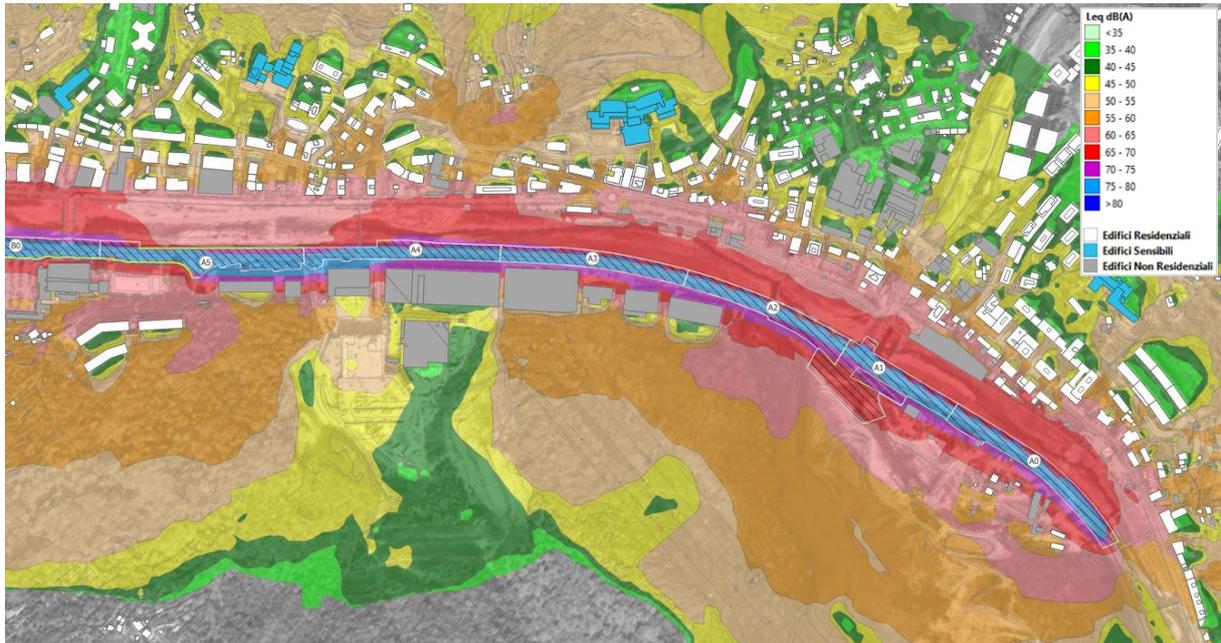


Figura 30. Mappa di simulazione acustica – Scenario 2b Post Mitigazione

2.1.3 Considerazioni conclusive

Per valutare il rumore prodotto nel corso della realizzazione degli interventi è indispensabile individuare le tipologie di lavorazioni svolte, i macchinari impiegati, le loro modalità di utilizzo e l'entità dei livelli sonori da essi prodotti.

L'analisi dell'impatto acustico delle attività di cantiere è in generale complessa. La molteplicità delle sorgenti, degli ambienti e delle posizioni di lavoro, unitamente alla variabilità delle macchine impiegate e delle lavorazioni effettuate dagli addetti, nonché alla variabilità dei tempi delle diverse operazioni, rendono infatti molto difficoltosa la determinazione dei livelli di pressione sonora. Le attività in corso nel cantiere cambiano inoltre con l'avanzamento dello stato dei lavori, e di conseguenza, variano continuamente il tipo ed il numero dei macchinari impiegati in contemporanea e, di solito, in maniera non standardizzabile.

Nel caso in oggetto, l'analisi svolta ha riguardato la definizione e la valutazione preliminare dei potenziali effetti acustici indotti dalle attività nelle aree di cantiere e dalle lavorazioni previste per la realizzazione delle opere in progetto.

Nello specifico, a seguito dell'analisi del contesto descritta nei paragrafi precedenti, che ha preso in considerazione la localizzazione delle aree di cantiere in relazione alla presenza e densità di ricettori abitativi/sensibili, nonché la classificazione del Piano di Zonizzazione Acustica, sono stati identificati i diversi scenari potenzialmente significativi.

Nello specifico, i criteri assunti alla base della definizione degli scenari di riferimento sono i seguenti:

- Tipologia delle attività e delle lavorazioni previste;
- Durata e contemporaneità delle lavorazioni;
- Prossimità a tessuti o ricettori residenziali e/o sensibili;
- Classe acustica nella quale ricadono le aree di cantiere e le zone ad esse contermini.

Sulla base di tali criteri sono stati identificati i seguenti scenari di riferimento ritenuti maggiormente significativi relativamente alle potenziali emissioni acustiche e alla contemporaneità delle lavorazioni:

- **Scenario 1a** – Realizzazione pile del viadotto durante il periodo diurno, per le aree di cantiere attive negli anni 2027 – 2029 e appartenenti al solo Lotto 1;
- **Scenario 1b** – Realizzazione pile del viadotto durante il periodo diurno, per le aree di cantiere attive negli anni 2029 – 2031 e appartenenti sia al Lotto 1 che al Lotto 2;
- **Scenario 2a** – Assemblaggio e posa impalcato in periodo notturno, per le aree di cantiere attive negli anni 2027 – 2029 e appartenenti al solo Lotto 1;
- **Scenario 2b** – Assemblaggio e posa impalcato in periodo notturno, per le aree di cantiere attive negli anni 2029 – 2031 e appartenenti sia al Lotto 1 che al Lotto 2.

Tutti gli scenari individuati sono stati oggetto di modellazione acustica previsionale mediante il software specializzato SoundPlan, operando in maniera quanto più realistica possibile nella ricostruzione dei diversi scenari, con ipotesi adeguatamente cautelative. Nella costruzione degli scenari da simulare sono state in particolare accolte le seguenti assunzioni:

- Scelta delle lavorazioni più onerose dal punto di vista delle emissioni acustiche. Nell'ambito delle diverse attività e lavorazioni previste per le opere in progetto, sono state appositamente individuate quelle che, in ragione della potenza sonora dei macchinari utilizzati, risultavano maggiormente critiche.
- Contemporaneità delle lavorazioni. Lo studio modellistico condotto ha considerato la simultaneità delle lavorazioni lungo linea.
- Scelta del numero e delle caratteristiche dei mezzi d'opera impiegati. Non essendo possibile nella presente fase progettuale avere una chiara definizione del numero e delle caratteristiche tecniche dei mezzi d'opera che saranno impiegati, si è proceduto con ipotesi adeguatamente cautelative.
- Ore di impiego. Anche la scelta delle ore di lavorazione effettiva è stata improntata al conseguimento di condizioni cautelative verso i ricettori esposti.

Dal punto di vista quantitativo, sulla base dei risultati delle simulazioni effettuate, vista la natura delle opere previste dal progetto, la possibile tipologia di macchinari impiegabili e l'entità delle opere da realizzare, si ritiene che durante le attività di costruzione possano essere rilevati livelli di rumorosità superiore ai limiti normativi in corrispondenza degli edifici maggiormente prossimi alle aree di cantiere e, in particolare, di quelli a destinazione residenziale. Tale effetto, laddove possibile, potrà essere contrastato mediante il ricorso a specifiche misure di mitigazione (barriere antirumore), le cui specifiche sono indicate nel documento.

Nella presente valutazione sono inoltre mostrati i risultati delle simulazioni in presenza degli elementi schermanti; come è possibile evincere dai risultati presentati, le barriere antirumore determinano una significativa diminuzione dei livelli acustici presso i ricettori esposti.

In alcuni casi, sia a causa delle caratteristiche delle sorgenti, che presentano livelli di rumorosità intrinsecamente elevati, sia in virtù della vicinanza dei ricettori al cantiere e delle specifiche della classificazione acustica, non è possibile rientrare all'interno dei limiti definiti dalla normativa di riferimento.

Per tutte le situazioni in cui è stata mostrata la difficoltà tecnica di raggiungimento dei pertinenti limiti previsti, viste le specifiche dell'intervento in oggetto che si configura come di pubblica utilità, sarà necessario ricorrere allo strumento di derogabilità alle emissioni rumorose.

Rimandando alle fasi successive di definizione progettuale l'affinamento del modello per la redazione delle richieste di deroga ai Comuni, si specifica che, oltre all'adozione delle schermature acustiche che consentono una riduzione delle emissioni per mezzo di argomentazioni di natura esclusivamente geometrica, saranno applicati ulteriori accorgimenti di natura logistica/organizzativa al fine di minimizzare le alterazioni del clima acustico dell'area durante le lavorazioni, come specificato nel paragrafo dedicato.

A questo riguardo si evidenzia che nell'ambito del progetto di monitoraggio ambientale, sono stati appositamente previsti dei punti di controllo per appurare il verificarsi dei superamenti previsti in questa fase preliminare della progettazione, così da poter prontamente intervenire con eventuali misure/interventi mitigativi.



2.1.3.1 Procedure operative

Oltre agli interventi di mitigazione diretti di cui sopra, durante la fasi di realizzazione delle opere verranno applicate generiche procedure di natura logistica/organizzativa per il contenimento dell'impatto acustico generato dalle attività di cantiere. In particolare verranno adottate misure che riguardano l'organizzazione del lavoro e del cantiere, verrà curata la scelta delle macchine e delle attrezzature e verranno previste opportune procedure di manutenzione dei mezzi e delle attrezzature.

Per quanto riguarda l'organizzazione del lavoro si seguiranno in genere le seguenti indicazioni generali:

- Entro le rispettive aree tecniche, l'Impresa avrà cura di localizzare gli impianti fissi più rumorosi (betonaggio, officine meccaniche, elettrocompressori, ecc.) alla massima distanza dai ricettori;
- Gli impianti che hanno un'emissione direzionale saranno orientati in direzione opposta rispetto ai ricettori, in modo da ottenere, lungo l'ipotetica linea congiungente la sorgente con il ricettore stesso, il livello minimo di pressione sonora.

Saranno inoltre adottati i seguenti accorgimenti:

- **Mascheramento della rumorosità:** le attività a maggiore impatto acustico saranno concentrate in intervalli temporali diurni caratterizzati da condizioni di maggiore rumorosità di fondo (presumibilmente nei due archi temporali 10-12 e 15-18), affinché il contributo del cantiere possa essere mascherato quanto più possibile dal residuo preesistente;
- **Informazione alla popolazione:** sarà data preventiva informazione alla popolazione esposta in termini di durata delle attività, al fine di circostanziare la cognizione del disturbo a intervalli noti;
- **Limitazione del periodo di accensione dei mezzi:** tutti i dispositivi di cantiere saranno accesi per la durata strettamente necessaria allo svolgersi delle attività. Saranno inoltre implementati mezzi dotati di meccanismo che spenga il motore in caso di inattività, limitando pertanto la finestra di emissioni di rumore ai periodi di effettivo utilizzo.
- **Utilizzo di mezzi conformi alla normativa in materia:** saranno utilizzati macchinari e attrezzature idonei a funzionare all'aperto (secondo D.P.R. 24 luglio 1996, n. 459) provvisti di marcatura CE relativamente alle emissioni acustiche. In particolare, tali dispositivi risponderanno alle prescrizioni della Direttiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 08 maggio 2000 "Ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri concernenti l'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto" (G.U.C.E. L 162 del 3 luglio 2000)", nonché delle successive modifiche ed integrazioni e decreti attuativi della medesima, riassunti di seguito:
 - Commissione Europea/D.G. Ambiente/Gruppo di Lavoro 7 "Linee guida per l'applicazione della direttiva 2000/14/CE" (anno 2001);
 - D. Lgs. 4 settembre 2002, n. 262 "Attuazione della Direttiva 2000/14/CE" (Suppl. Ord. Alla G.U.R.I. n. 273 del 21 novembre 2002);

- Commissione Europea/D.G. Ambiente “*EC Declaration of Conformity for 2000/14 – Advice for the manufacturer of equipment covered by European Directive 2000/14/EC*” (2003)
 - Direttiva 2005/88/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, 14 dicembre 2005 “*che modifica la direttiva 2000/14/CE sul ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri concernenti l'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto*” (G.U.C.E. L 344 del 27 dicembre 2005);
 - D.M.A. 24 luglio 2006 “*Modifiche dell'allegato I - Parte b, del decreto legislativo 4 settembre 2002, n. 262, relativo all'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate al funzionamento all'esterno.*” (G.U. n. 182 del 7 agosto 2006)”
 - D.M.T. 4 aprile 2008: “*Rettifica del decreto 14 dicembre 2007 di recepimento della direttiva 2007/34/CE della Commissione del 14 giugno 2007, che modifica, ai fini dell'adattamento al progresso tecnico, la direttiva 70/157/CEE del Consiglio relativa al livello sonoro ammissibile e al dispositivo di scappamento dei veicoli a motore.*” (G.U. n. 135 del 11 giugno 2008).
 - D.Lgs. 17 febbraio 2017, n. 41 - Disposizioni per l'armonizzazione della normativa nazionale in materia di inquinamento acustico con la direttiva 2000/14/CE e con il regolamento (CE) n. 765/2008, a norma dell'articolo 19, comma 2, lettere i), l) e m) della legge 30 ottobre 2014, n. 161. (17G00054)
- Utilizzo di mezzi ad elevata efficienza e buon contenimento delle emissioni acustiche: saranno utilizzati dispositivi in grado di garantire prestazioni elevate, riducendo la durata delle lavorazioni e pertanto l'inquinamento acustico connesso alle stesse. Si prediligerà l'impiego di attrezzature e tecniche in grado di minimizzare l'impatto acustico; ad esempio:
- sarà valutato l'impiego di tecniche di convogliamento e di stoccaggio di materiali terrosi diverse dalle macchine di movimento terra, quali nastri trasportatori e tramogge;
 - Sarà privilegiato l'utilizzo di macchine movimento terra ed operatrici gommate, piuttosto che cingolate;
 - Gli scarichi saranno dotati di silenziatori;
 - Gli impianti fissi, quali gruppi elettrogeni e compressori, saranno provvisti di dotazioni fonoisolanti.
- Corretta manutenzione delle attrezzature e delle aree di cantiere: le attività di manutenzione consentiranno di evitare emissioni rumorose legate allo stato di usura e danneggiamento delle componenti. Saranno ad esempio previste le seguenti operazioni manutentive:
- eliminazione degli attriti attraverso operazioni di lubrificazione;
 - sostituzione dei pezzi usurati e che lasciano giochi;
 - controllo e serraggio delle giunzioni;
 - bilanciatura delle parti rotanti delle apparecchiature per evitare vibrazioni eccessive;
 - verifica della tenuta dei pannelli di chiusura dei motori;
 - svolgimento di manutenzione alle sedi stradali interne alle aree di cantiere e sulle piste esterne, mantenendo la superficie stradale livellata per evitare la formazione di buche.



- Imposizione di direttive agli operatori al fine di evitare comportamenti inutilmente rumorosi: gli operatori saranno formati in relazione all'esigenza di adottare buone pratiche e comportamenti corretti per quanto riguarda il controllo delle emissioni rumorose. Ad esempio, saranno fornite istruzioni in merito al corretto utilizzo dei segnalatori acustici, sarà specificato che si dovrà evitare di far cadere da altezze eccessive i materiali o di trascinarli quando possono essere sollevati, ecc.

1.1.1.1 Deroga

In fase di costruzione, dopo avere messo in atto tutti i provvedimenti possibili, costituiti dalle barriere e dagli altri accorgimenti riportati nel paragrafo dedicato, qualora non risultasse possibile ridurre il livello di rumore al di sotto della soglia prevista, l'Appaltatore richiederà al Comune una deroga ai valori limite dettati dal D.P.C.M. 14 dicembre 1997 "*Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore*".

Il valore del livello di rumore da definire nella richiesta di deroga dovrà essere stabilito dall'Appaltatore a seguito di ulteriori approfondimenti in fase esecutiva, in funzione delle caratteristiche dei propri macchinari, delle modalità di lavoro, del programma lavori e dell'effettiva organizzazione interna dei cantieri.



3. VIBRAZIONI

La valutazione delle vibrazioni ha lo scopo di stimare gli effetti sull'ambiente circostante delle vibrazioni emesse dai macchinari di cantiere impiegati per la realizzazione dell'opera in progetto.

In dettaglio si procederà analizzando le principali sorgenti previste in funzione delle attività lavorative che saranno sostanzialmente raggruppabili in macchine operatrici (escavatore, sonda perforatrice, ecc.) ed in mezzi adibiti al trasporto (autocarri, autobetoniera, ecc.). Verrà descritto il metodo adottato per la previsione dei livelli vibrazionali indotti durante realizzazione delle opere e tali livelli saranno confrontati con i limiti della normativa in materia per ciò che riguarda l'effetto delle vibrazioni sulle persone e strutture.

Lo studio vibrazionale per la fase di cantiere è volto, in particolare, all'accertamento del disturbo alle persone, il quale ha limiti più restrittivi rispetto a quelli determinati sulle strutture. Pertanto, qualora si verifichi dall'esame della previsione di propagazione delle vibrazioni la presenza di edifici nelle più zone più critiche, tale elemento non costituisce un fattore per la stima di un possibile danno alle strutture, evidenziando unicamente il superamento di una soglia di disturbo per i residenti dell'edificio stesso. Tale soglia, pur ricavata dalle normative tecniche esistenti in sede nazionale ed internazionale, non risulta fissata da alcun atto legislativo.

Per quanto riguarda gli effetti sulle strutture, in presenza di livelli elevati e prolungati di vibrazioni, sono stati osservati danni strutturali a edifici e/o strutture. È da notare, però, che tali livelli sono alti di quelli normalmente tollerati dagli esseri umani, i cui livelli sono riportati nelle norme ISO 2631 e UNI 9614. Tale considerazione è facilmente deducibile dal confronto dei valori riportati nelle norme che riportano i danni sull'uomo (ISO 2631 e UNI 9614) con i valori nelle norme che riguardano i danni strutturali (UNI 9916 ed ISO 4866), pertanto le prime sono state scelte quale riferimento, poiché riportano dei valori limite più restrittivi.

In definitiva, soddisfatto l'obiettivo di garantire livelli di vibrazione accettabili per le persone, risulta automaticamente realizzata l'esigenza di evitare danni strutturali agli edifici, almeno per quanto concerne le abitazioni civili. Come unica eccezione sono da annoverare le vibrazioni che incidono su monumenti e beni artistici di notevole importanza storico-monumentale, i quali devono essere trattati come punti singolari con studi e valutazioni mirate.

Per lo studio dell'impatto vibrazionale si è proceduto con le operazioni seguenti:

- analisi del territorio in cui si colloca l'opera e delle caratteristiche dei ricettori;
- definizione degli scenari critici in termini di impatto vibrazionale;
- valutazione delle vibrazioni previste sui ricettori prossimi.

3.1 Descrizione del contesto ambientale e territoriale

3.1.1 Inquadramento normativo

La caratterizzazione delle emissioni di vibrazioni da parte di veicoli non è soggetta alle stringenti normative e disposizioni legislative che normano invece l'emissione del rumore e sebbene le vibrazioni trasmesse agli edifici non siano state argomento di legiferazione da parte dello Stato italiano è tuttavia



universalmente riconosciuta la competenza in materia da parte dell'UNI, ente preposto alla redazione della normativa tecnica in ambito nazionale.

L'UNI ha pubblicato negli anni una completa serie di norme (nazionali e/o recepimenti di norme internazionali) che coprono l'intera problematica delle vibrazioni negli edifici: la valutazione del disturbo alle persone, la valutazione del danno strutturale, l'implementazione della metodologia di misura ecc.

In particolare, le norme di interesse per il presente studio di impatto sono:

- Norma UNI 9614:1990 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo";
- Norma UNI 9614:2017 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo";
- Norma UNI 9916:2004 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici".

Nella UNI 9614:1990 è definito il metodo di misura delle vibrazioni di livello costante immesse negli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi. La norma concorda parzialmente con la norma internazionale ISO 2631/2. La UNI 9614:1990 ha subito una revisione nel 2017. La UNI 9614:2017 imposta un approccio profondamente diverso nella modalità di valutazione dei disturbi da vibrazione. Per tale motivo, considerando il nuovo approccio proposto dalla revisione del 2017 la valutazione del modello di propagazione sarà eseguita in riferimento alla UNI 9614:2017.

La norma UNI 9916 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii per permettere la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica.

Vi sono, inoltre, norme internazionali di riferimento, fra cui:

- ISO 8041 Human response to vibration – Measuring instrumentation
- ISO 2631-1, Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, 1997;
- ISO 2631-2, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz), 1989;
- ISO 5347, Metodi per la calibrazione dei rilevatori di vibrazioni;
- ISO 5348, Montaggio meccanico degli accelerometri;
- ISO 1683, Acoustics – Preferred reference quantities for acoustic levels, 1983;
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 1: Principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations, 1975.
- DIN 4150-2, Vibrations in building. Part 2: Influence on persons in buildings, 1975.
- DIN 4150-3, Vibrations in building. Part 3: Influence on constructions, 1975.

Di seguito si fornisce una breve sintesi dei contenuti essenziali delle norme più rilevanti utilizzate per la valutazione dell'impatto da vibrazioni.

3.1.1.1 Norma UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo"

La UNI 9614:1990 "Vibrazioni - Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo" considera i diversi tipi di sollecitazione vibratoria: livelli costanti, non costanti, impulsivi. La norma definisce metodologia di misura e analisi del segnale al fine di quantificare il disturbo da vibrazioni verso le persone. La vibrazione viene espressa attraverso il concetto di accelerazione:

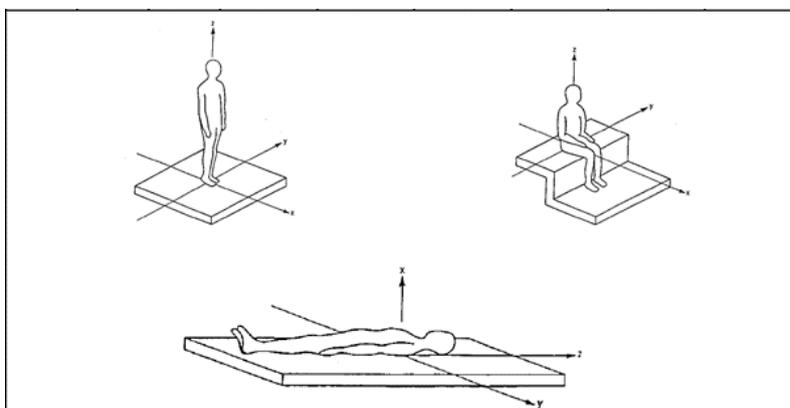
$$a = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T a(t)^2 dt}$$

o del suo equivalente livello di accelerazione (espressione in dB dell'accelerazione espressa in m/s²):

$$L_{acc} = 20 \cdot \lg \left[\frac{a}{a_0} \right] \quad a_0 = 10^{-6} \frac{m}{s^2}$$

Nella definizione di accelerazione ponderata a_w prevista dalla norma (che prevede una pesatura in frequenza in funzione della direzione della vibrazione) si fa riferimento al seguente schema.

Frequenza [Hz]			Ponderazione per le Accelerazioni [dB]			Ponderazione per le Velocità [dB]		
centrale	Estremo inferiore	Estremo superiore	Postura Longitudinale (asse z)	Postura Trasversale (asse x-y)	Postura non nota o Variabile	Postura Longitudinale (asse z)	Postura Trasversale (asse x-y)	Postura non nota o Variabile
1.00	0.89	1.12	-6.0	0.0	0.0	-24.0	-6.0	-15.0
1.25	1.12	1.41	-5.0	0.0	0.0	-21.0	-4.0	-13.0
1.60	1.41	1.78	-4.0	0.0	0.0	-18.0	-2.0	-11.0
2.00	1.78	2.24	-3.0	0.0	0.0	-15.0	0.0	-9.0
2.50	2.24	2.82	-2.0	-2.0	-0.5	-12.0	0.0	-7.5
3.15	2.82	3.55	-1.0	-4.0	-1.0	-9.0	0.0	-6.0
4.00	3.55	4.47	0.0	-6.0	-1.5	-6.0	0.0	-4.5
5.00	4.47	5.62	0.0	-8.0	-2.0	-4.0	0.0	-3.0
6.30	5.62	7.08	0.0	-10.0	-2.5	-2.0	0.0	-1.5
8.00	7.08	8.91	0.0	-12.0	-3.0	0.0	0.0	0.0
10.00	8.91	11.22	-2.0	-14.0	-5.0	0.0	0.0	0.0
12.50	11.22	14.13	-4.0	-16.0	-7.0	0.0	0.0	0.0
16.00	14.13	17.78	-6.0	-18.0	-9.0	0.0	0.0	0.0
20.00	17.78	22.39	-8.0	-20.0	-11.0	0.0	0.0	0.0
25.00	22.39	28.18	-10.0	-22.0	-13.0	0.0	0.0	0.0
31.50	28.18	35.48	-12.0	-24.0	-15.0	0.0	0.0	0.0
40.00	35.48	44.67	-14.0	-26.0	-17.0	0.0	0.0	0.0
50.00	44.67	56.23	-16.0	-28.0	-19.0	0.0	0.0	0.0
63.00	56.24	70.79	-18.0	-30.0	-21.0	0.0	0.0	0.0
80.00	70.80	89.12	-20.0	-32.0	-23.0	0.0	0.0	0.0



I valori limite sono differenziati per tipologia insediativa, per tipo di segnale (durata, caratteristiche) e per asse di sollecitazione. Per valori di sollecitazione vibratoria costante e non costante (dove per quest'ultima viene richiesta un'integrazione dei valori misurati), i valori limite sono riportati nella seguente tabella.

Classe	Destinazione d'uso del territorio	Livello L_{eff} [dB] (°)			Accelerazione A_{eff} [mm/s ²]			Velocità V_{eff} [µm/s]		
		L (z)	T (x-y)	V (x-y-z)	L (z)	T (x-y)	V (x-y-z)	L (z)	T (x-y)	V (x-y-z)
I	Aree critiche (1)	74	71	71	5,0	3,6	3,6	100	280	100
II	Abitazioni (notte)	77	74	74	7,0	5,0	5,0	140	400	140
III	Abitazioni (giorno)	80	77	77	10,0	7,2	7,2	200	560	200
IV	Uffici	86	83	83	20,0	14,4	14,4	400	1.100	400
V	Fabbriche	92	89	89	40,0	28,8	28,8	800	2.200	800

L componente longitudinale (riferita alla spina dorsale dell'uomo)(Asse z)
T componente trasversale (riferita alla spina dorsale dell'uomo)(Assi x-y)
V nel caso di postura variabile o non nota(Assi x-y-z)
(°) 0 dB \equiv 1 µm/s² (10⁻⁶ m/s²)

(1) Per aree critiche si intendono edifici particolarmente sensibili alle vibrazioni, quali ad es. laboratori metrologici, fabbriche industriali contenenti apparecchiature sensibili alle vibrazioni (microscopi elettronici...).

La UNI 9614 definisce tre tipologie di segnali vibratorii:

- Vibrazioni di livello costante;
- Vibrazioni di livello non costante;
- Vibrazioni impulsive.

Il segnale vibratorio prodotto dalle vibrazioni stradali può essere considerato come una vibrazione di livello non costante, e dunque per tale tipologia di segnale la valutazione deve avvenire su un "intervallo di tempo rappresentativo" dell'evento (app. A.2 norma UNI 9614).

Su tale intervallo è possibile effettuare due tipi di valutazioni: nel caso in cui si scelga un approccio maggiormente cautelativo si può operare sul massimo valore raggiunto durante l'evento del transito, mentre in alternativa si può lavorare sul concetto di media energetica sulla durata dell'evento.

In generale, la valutazione delle vibrazioni negli studi, è scelto di eseguire le valutazioni sul valore medio del valore efficace (RMS) della vibrazione su un intervallo equivalente alla durata dell'evento di transito.

Per quanto riguarda la direzione del rilievo la norma UNI 9614 prescrive di eseguire i rilievi "lungo i tre assi ortogonali o secondo l'asse lungo il quale le vibrazioni sono più elevate". Negli studi è scelto di considerare la seconda ipotesi, e di applicare la ponderazione asse Z all'asse verticale e la ponderazione X-Y per gli assi orizzontali. I limiti applicabili saranno pertanto:

Direzione	Soglia di percezione L_{aw} (dB)	Limite di accettabilità per abitazioni L_{aw} (dB)	Limite di accettabilità per uffici L_{aw} (dB)
Asse Z	74	77	86
Assi X-Y	71	74	83



La norma UNI 9614:2017, aggiornamento della precedente UNI 9614:1990 che generalmente rispetto la ISO 2631-2 si configura come più restrittiva, prende a riferimento la ISO 2631-2:2003 – “Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)” e la norma norvegese NS 8176E – “Vibration and shock - Measurement of vibration in buildings from landbased transport and guidance to evaluation of effects on human beings”.

Alle citate norme sono inoltre considerate la:

- UNI 11568:2017 – “Vibrazioni – Strumentazione e analisi per la misura delle vibrazioni – Strumenti di misura”;
- ISO 8041-1:2017 – “Risposta degli esseri umani alle vibrazioni – Strumenti di misurazione – Parte 1: Strumenti per la misura di vibrazioni per uso generale”
- ISO 5348 – “Vibrazioni meccaniche ed urti – Monitoraggio meccanico degli accelerometri”.

L’insieme delle norme citate definiscono:

- i tipi di locali o edifici;
- i periodi di riferimento;
- i valori che costituiscono il disturbo;
- il metodo di misura delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne.

Le sorgenti di vibrazioni si considerano:

- rispetto alla posizione (interno o esterno agli edifici);
- rispetto alla funzione (per “attività essenziali di servizio pubblico”, per “attività non interrompibili”, di “altra natura”);
- rispetto alla caratteristica di durata delle vibrazioni prodotta (periodo di attività della sorgente: continue o semi-continue; intermittenti presenti per gran parte della giornata; intermittenti presenti per una parte limitata della giornata; temporanee presenti per gran parte della giornata; temporanee presenti per una parte limitata della giornata).

Tale classificazione è proposta come descrittore univoco per l’identificazione dei fenomeni vibrazionali.

La UNI 9614:2017 prevede che le vibrazioni siano calcolate simultaneamente lungo i tre assi di propagazione e che il sistema di essi sia riferito o alla struttura dell’edificio o al corpo umano. Le vibrazioni associate alla sorgente ritenuta fonte di disturbo devono, successivamente, essere quantificate mediante l’accelerazione ponderata calcolata come differenza vettoriale tra il “vettore di immissione”, ottenuto da un numero rappresentativo di eventi della sorgente in valutazione, ed il “vettore di vibrazione rappresentate il residuo”, quindi in assenza della specifica sorgente in indagine.

Per la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni la norma prevede il confronto del parametro descrittore della “vibrazione della sorgente” in esame con determinati valori limiti di disturbo differenziati per tipo di ambiente e per i diversi periodi della giornata. In particolare, per gli edifici destinati ad abitazione sono individuati, al pari della normativa acustica, un periodo diurno, dalle 6:00 alle 22:00, e un periodo notturno dalle 22:00 alle 6:00. Nella seguente tabella si riportano i limiti massimi per la massima accelerazione ponderata della vibrazione della sorgente previsti. Qualora le



vibrazioni residue abbiamo un valore maggiore del 50% di quelle immesse, il disturbo prodotto dalle vibrazioni della sorgente è da considerarsi trascurabile.

Destinazione d'uso	Accelerazione Vettore V_{sorg} (m/s^2)
Abitazioni (periodo notturno dalle 22:00 alle 6:00)	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Abitazioni (periodo diurno dalle 6:00 alle 22:00)	$7,2 \cdot 10^{-3}$
Abitazioni (periodo diurno festivo dalle 6:00 alle 22:00)	$5,4 \cdot 10^{-3}$
Luoghi di lavoro	$14 \cdot 10^{-3}$
Ospedali, case di cura e affini (indipendentemente dal periodo)	$2 \cdot 10^{-3}$
Asili e case di riposo (valido anche nel periodo diurno in caso sia previsto il riposo delle persone)	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Scuole di ogni ordine e grado (limitatamente al periodo di utilizzo)	$5,4 \cdot 10^{-3}$

Come precedentemente evidenziato nella valutazione ed in particolare nella fase modellistica si farà riferimento alla UNI 9614:2017.

3.1.1.2 Norma UNI 9916 - Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici

I danni agli edifici determinati dalle vibrazioni vengono trattati dalla UNI 9916 “Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici”, norma in sostanziale accordo con i contenuti tecnici della ISO 4866 ed in cui viene richiamata, sebbene non faccia parte integrante della norma, la DIN 4150, parte 3.

La norma UNI 9916 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratorii allo scopo di permettere anche la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica. Altro scopo della norma è quello di ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o su edifici diversi a parità di sorgente di eccitazione, nonché di fornire criteri di valutazione degli effetti delle vibrazioni medesime.

La norma considera come intervallo di frequenze di interesse quello compreso tra 1 e 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (venti, terremoti ecc.) nonché ad eccitazioni causate dall'uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l'intervallo di frequenza significativo delle vibrazioni può essere più ampio, ma tuttavia le eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell'edificio.

L'appendice A della norma UNI 9916 contiene una guida semplificata per la classificazione degli edifici, secondo la loro probabile reazione alle vibrazioni meccaniche trasmesse attraverso il terreno.

L'appendice D della UNI 9916 contiene i criteri di accettabilità dei livelli di vibrazione con riferimento alla Normativa Tedesca DIN 4150 ed al Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 24 gennaio 1986 “Norme tecniche relative alle costruzioni in zona sismica”, riassunti nella seguente tabella.

Classe	Tipo di edificio	Fondazione			Piano alto	Solai componenti verticale
		$f=1-10$ Hz	$f=10-50$ Hz	$f=50-100$ Hz (*)		
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	da 20 (per $f=10$ Hz) a 40 (per $f=50$ Hz)	da 40 (per $f=50$ Hz) a 50 (per $f=100$ Hz)	Tutte le frequenze 40	Tutte le frequenze 20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	da 5 (per $f=10$ Hz) a 15 (per $f=50$ Hz)	da 15 (per $f=50$ Hz) a 20 (per $f=100$ Hz)	Tutte le frequenze 15	Tutte le frequenze 20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (p.es. monumenti)	3	da 3 (per $f=10$ Hz) a 8 (per $f=50$ Hz)	da 8 (per $f=50$ Hz) a 10 (per $f=100$ Hz)	Tutte le frequenze 8	Tutte le frequenze 3/4

(*) Per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati valori di riferimento per 100 Hz

La norma citata prevede che le misurazioni siano effettuate secondo tre assi mutuamente ortogonali: un asse ha direzione verticale, le due componenti orizzontali sono preferibilmente parallele/ortogonali ai muri dell'edificio. Le misurazioni possono essere effettuate anche con accelerometri mono o biassiali, purché in numero di tre, mutualmente ortogonali, e montanti su struttura rigida che garantisca che le misurazioni si riferiscano ad un unico punto.

La norma specifica che i valori di riferimento indicati riguardano solo l'effetto diretto delle vibrazioni.

Non sono contemplati gli effetti indiretti quali, per esempio, cedimenti provocati dalla compattazione del terreno a seguito delle vibrazioni. Tali effetti indiretti devono essere considerati a parte.

I valori di riferimento indicati sono quelli al di sotto dei quali, salvo casi particolari, è ragionevole presumere che non vi sia danno; si specifica inoltre che il superamento dei limiti indicati non implica necessariamente il verificarsi del danno, ma è un segnale della necessità di indagini più approfondite.

Si evidenzia infine l'esistenza di pochi o anche di un solo punto in cui si verifica superamento dei limiti, può essere sintomo di situazione suscettibile di causare danno cosmetico.

In considerazione dei valori nettamente inferiori dei limiti previsti della norma UNI 9614:2017 rispetto a quelli della norma UNI 9916:2014, si considera nella presente valutazione, che il rispetto dei limiti della norma UNI 9614:2017 implichi il conseguente rispetto anche dei limiti della norma UNI 9916:2014.

3.1.1.3 Norma UNI 11048 - Vibrazioni meccaniche ed urti - Metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo

La norma UNI 11048:2003, sperimentale, definisce i metodi di misurazione delle vibrazioni e degli urti trasmessi agli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi, al fine di valutare il disturbo arrecato ai soggetti esposti. Essa affianca la UNI 9614. La norma non si applica alla valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, in relazione a possibili danni strutturali o architettonici, per la quale si rimanda alla UNI 9916.



3.1.1.4 Riferimenti bibliografici

Al fine della redazione del presente studio, per le assunzioni e comprovare le ipotesi tecniche assunte sono state prese in considerazione, oltre la corrente normativa tecnica, la seguente bibliografia:

- Lamberto Tronchin, Angelo Farina, Valerio Tarabusi – “Studio di impatto acustico e vibrazionale nella realizzazione di infrastrutture viarie e ferroviarie” - 31° Convegno Nazionale AIA, Venezia, 5-7 maggio 2004.
- Angelo Farina – “Valutazione dei livelli di vibrazioni in edifici residenziali - Normativa, tecniche di misura e di calcolo” - Rivista Neo-EUBIOS, n. 16. Maggio 2006 - ISSN 1825-5515.
- Aki, K., and Richards, P.G. (1980). “Quantitative Seismology: Theory and Methods.”, W.H. Freeman and Company, San Francisco, 932 pp.
- Ishihara, K. (1996). “Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics.”, Oxford Science Publications, Oxford, UK, pp. 350.
- Ohta, Y. and N. Goto. (1978), Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes. Earthq. Eng. Struct. Dyn., 6:167-187.
- Hal Amick, Colin Gordon & Associates (1999), “A Frequency-Dependent Soil Propagation Model” - Presented at SPIE Conference on Current Developments in Vibration Control for Optomechanical Systems - Denver, Colorado, July 20, 1999 San Mateo, California USA.
- Dong-Soo Kim, Jin-Sun Lee (1999), “Propagation and attenuation characteristics of various ground vibrations” - Department of Civil Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Taejon – pp 305-701
- Hal Amick and Michael Gendreau (2000) – “Construction Vibrations and Their Impact on Vibration-Sensitive Facilities” - Colin Gordon & Associates, San Mateo, California 94402.

3.1.2 Contesto geologico di riferimento per lo studio vibrazionale

Il previsto tracciato della nuova linea di trasporto della Val Bisagno interesserà, sotto l’aspetto geologico, le seguenti unità litotecniche:

- materiali di riporto collocati alle spalle dei muri d’argine, ove presenti, e comunque a formare il “rilevato” della strada che risale la valle mantenendosi lungo la sponda, per uno spessore che mediamente è pari a 5.00 m;
- depositi alluvionali del Torrente Bisagno, di natura principalmente ghiaiosa e sabbiosa, con matrice fine, limosa e con intercalazioni di livelli limoso argillosi e sabbiosi, questi ultimi di spessore variabile da pochi decimetri nel tratto mediano e superiore della valle, fino a 7 – 8 metri nel tratto meridionale tra Marassi e la Foce. Lo spessore complessivo della sequenza alluvionale varia tra un minimo di 10 m a Molassana e un massimo di 40 m circa in zona Brignole, sponda sinistra.
- Substrato roccioso, costituito in massima parte dalla formazione del Monte Antola e in subordine dalle Argilliti di Montoggio, presenti all’estremo settentrionale del tracciato, a Molassana, oltre che, probabilmente, all’altezza di ponte Carrega a Montesignano Rio Mermi. Limitatamente al capolinea sud dell’impianto, presso la stazione ferroviaria di Genova



Brignole, e soprattutto in sponda idrografica sinistra, sono presenti, in copertura ai calcari, le Argille di Ortovero.

Per ulteriori approfondimenti sul contesto geologico dell'area si rimanda alla Relazione Geologica elab. MGE1P4LVGEOCOMR00100.

3.1.3 Definizione del disturbo vibrazionale

La caratterizzazione del disturbo vibrazionale è effettuata in termini di definizione del Vettore Sorgente (V_{sorg} espresso in mm/s^2) ossia del vettore accelerazione relativo alla sorgente in valutazione per determinare la percezione umana e della velocità (in mm/s) per valutare gli effetti delle vibrazioni sugli edifici. È possibile convertire i valori di accelerazione "a" nel corrispondente valore di velocità "v", nota la frequenza "f", tramite la relazione:

$$v = \frac{a}{2 \cdot \pi \cdot f}$$

Convenzionalmente, in analogia con le analisi del rumore, sia i valori di velocità che quelli di accelerazione è possibile valutati sulla scala dei dB, tramite le relazioni:

$$L_{acc} = 20 \cdot \lg \left[\frac{a}{a_0} \right] \qquad L_{vel} = 20 \cdot \lg \left[\frac{v}{v_0} \right]$$

in cui compaiono i valori di riferimento $a_0 = 0.001 \text{ mm/s}^2$ e $v_0 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ mm/s}$.

3.1.4 Metodologia per la valutazione dei livelli vibrazionali indotti dal cantiere

Il fenomeno con cui un prefissato livello di vibrazioni imposto sul terreno si propaga nelle aree circostanti è correlato alla natura del terreno, alla frequenza del segnale e alla distanza fra il punto di eccitazione e quello di valutazione dell'effetto. Il metodo previsionale dei livelli di vibrazione ha impiegato simulazioni numeriche.

In dettaglio si illustrano i passi seguiti nell'elaborazione. La valutazione dei livelli vibrazionali è stata condotta a fronte dell'acquisizione degli spettri di emissione dei fenomeni considerati (attività dei mezzi di cantiere e per il trasporto dei materiali nonché impianti fissi), utilizzando sia dati bibliografici che rilievi strumentali. Gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza nota dalla sorgente vibratoria e sono afferenti alla componente verticale. In particolare, si assume nello studio che la componente vettoriale che origina il Vettore Immissione e conseguentemente il Vettore Sorgente, sia la componente verticale.

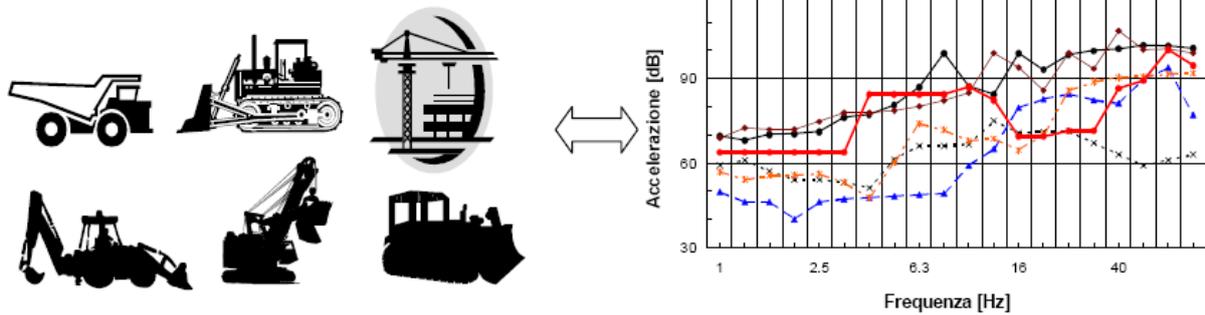


Figura 31. Relazione tra mezzi d'opera e spettro di emissione di vibrazioni

Dagli spettri delle sorgenti si determina il livello di accelerazione non ponderato a distanze crescenti dalla sorgente mediante una legge di propagazione. Nel caso di sorgenti superficiali, ad esempio, si precisa che l'espressione con cui si esprime l'accelerazione ad una certa distanza d è basata sulla seguente formulazione:

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

I livelli complessivi di accelerazione non pesati a distanze crescenti dalla sorgente corrispondenti agli scenari analizzati sono dati dalla combinazione, frequenza per frequenza, degli spettri di vibrazione relativi alle singole macchine previste. Come legge di combinazione degli spettri è stata adottata la regola SRSS (Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares) che consiste nell'eseguire la radice quadrata della somma dei quadrati delle ordinate spettrali relative alle singole macchine. Per ciascuna frequenza si è quindi ottenuto quindi un valore complessivo non pesato di tutte le macchine attive ($A_{TOT,f}$) sotto forma di matrice.

$$A_{TOT,f} = \sqrt{A_1(f,d)^2 + A_2(f,d)^2 + \dots + A_N(f,d)^2} \quad (\text{SRSS})$$

Relativamente ad ogni scenario modellizzato, si è applicato alla matrice citata la curva di attenuazione definita per postura non nota (o asse generico) dalla UNI 9614.

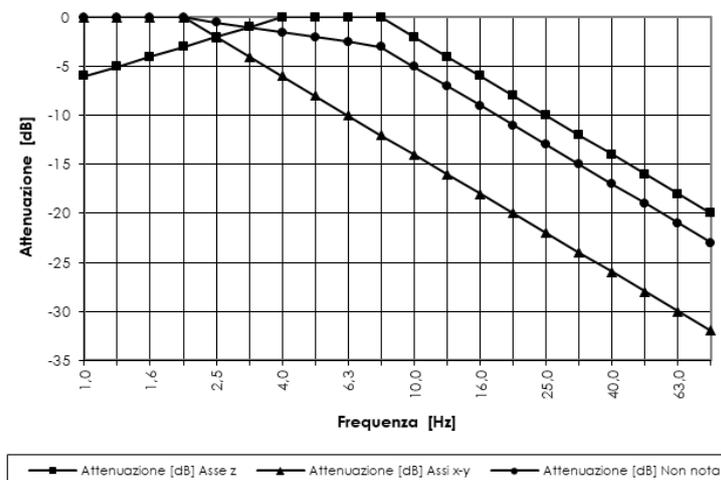


Figura 32. Filtri di ponderazione per i diversi assi di riferimento

Si è quindi ottenuta la matrice dei livelli ponderati di accelerazione complessiva per singola frequenza e distanza, con cui è stato possibile realizzare specifici grafici di propagazione dello spettro della somma delle sorgenti analizzate.

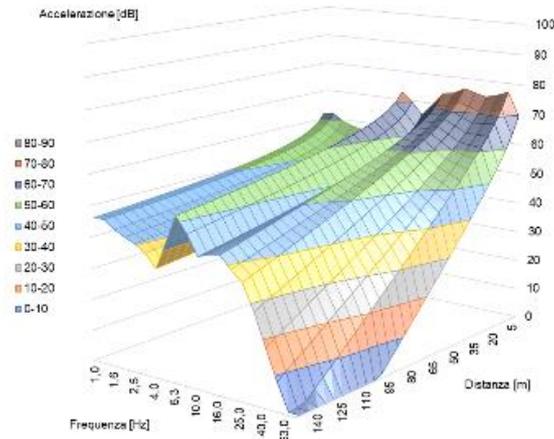


Figura 33. Propagazione dello spettro di vibrazione

Il livello totale di accelerazione ponderata in funzione della distanza, $a_{w,d}$, è ottenuto sommando tutti i corrispondenti valori per frequenza $A_{TOT,f}$. Il numero ottenuto è rappresentativo dell'accelerazione complessiva ponderata sul vettore di riferimento, il quale individua il Vettore Immissione ad una determinata distanza. Ripetendo questa operazione per una griglia di distanze si è ottenuto il profilo di attenuazione dell'accelerazione ponderata e complessiva di tutti i Vettori di Immissione. Per la definizione del Vettore Sorgente sarà necessario stabilire il Vettore Residuo. In particolare, se il Vettore Residuo è molto basso il Vettore Immissione sarà molto prossimo, se non coincidente al Vettore Sorgente. Nella valutazione si procederà ad una valutazione del Vettore Residuo o tramite indagini sperimentali o in base a dati noti di letteratura basati sulla fruizione dei luoghi relativamente alla destinazione d'uso.

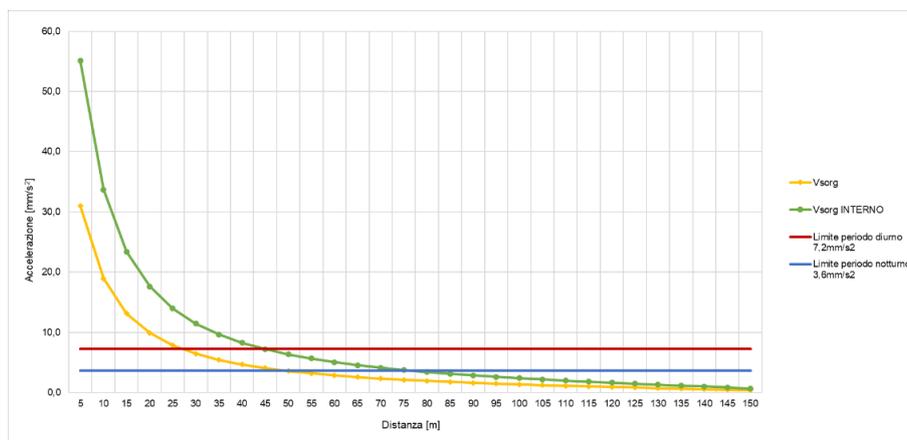


Figura 34. Valutazione della propagazione del livello di vibrazioni (Vettore Sorgente) a diverse distanze

Ai fini del confronto con i livelli di riferimento della norma UNI 9614:2017 si procederà al confronto con il Vettore Sorgente determinato, in funzione dell'ubicazione del ricettore e della destinazione d'uso.

3.1.5 Modello di calcolo

Al fine dell'esecuzione del calcolo della propagazione delle vibrazioni saranno presi in considerazione due posizioni che possono assumere le sorgenti: sarà identificato il caso in cui le sorgenti sono in superficie (sorgenti superficiali) ed in profondità (sorgenti profonde).

3.1.5.1 Sorgenti superficiali

Parlando della trasmissione di vibrazioni nel terreno, è necessario distinguere tra tre tipi principali di onde che trasportano energia vibrazionale: onde di compressione (onda P), onde di taglio (onda S) e onde di superficie (orizzontali, onde R, e verticali, onde L), le quali hanno velocità di propagazione differente in funzione del modulo di Poisson del terreno.

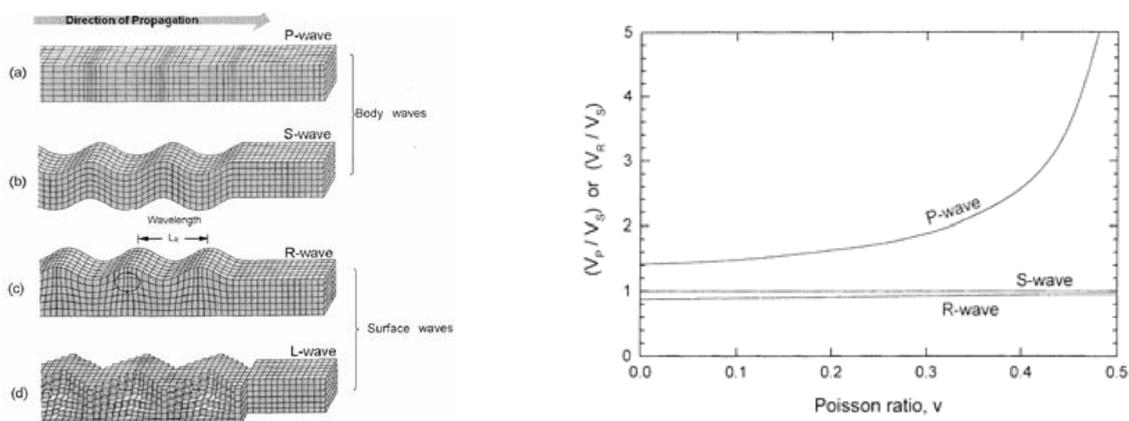


Figura 35. Tipi di onda di volume e di superficie (a sinistra) e velocità relativa delle onde P, R rispetto onde S (a destra)

L'espressione con cui si esprime l'accelerazione ad una certa distanza d , per tutti tre i tipi di onde considerati (P, S, R), è basata sulla seguente formulazione:

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

dove η è il fattore di perdita del terreno, c la velocità di propagazione in m/s, f la frequenza in Hz, d la distanza in m, e d_0 la distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di emissione, assunta pari a 5m. L'esponente n varia a seconda del tipo di onda e di sorgente di vibrazioni. Ai fini dell'analisi dei livelli massimi, si è proceduto prendendo a riferimento una sorgente concentrata, fissando l'esponente n a 0.5 per le onde di superficie (predominanti in caso di sorgente posta in superficie), e 1 per le onde di volume (predominanti in caso di sorgente profonda). Risulta pertanto evidente come la propagazione a partire da una sorgente posta in profondità sia dotata, anche nel caso di terreno omogeneo, di molta più rapida attenuazione al crescere della distanza dalla sorgente.

Tabella 22. Definizione dell'esponente n in base al tipo di sorgente e onda

Tipo di sorgente	Onda	Strato	n
Linea	Superficie	Superficie	0
	Volume	Superficie	1.0
Punto	Rayleigh	Superficie	0.5
	Volume	Superficie	2.0
Linea Sotterranea	Volume	Profondo	0.5
Punto Sotterraneo	Volume	Profondo	1.0

Il termine esponenziale rappresenta i fenomeni di dissipazione di energia meccanica in calore, che, come si vede, va crescendo proporzionalmente alla frequenza. Ciò fa sì che le alte frequenze si estinguano dopo un breve percorso, mentre le frequenze più basse si propagano a distanze maggiori.

Il rapporto η/c (indicato anche come ρ) dipende, infine, dal particolare tipo di terreno considerato, ed assume valori elevati nel caso di terreno coltivato soffice, mentre assume valori molto modesti nel caso di pavimentazioni rigide.

Tabella 23. Coefficiente di attenuazione

Classe	Descrizione del materiale	Coefficiente di attenuazione	ρ
I	Cedevole o tenero (terreno che può essere scavato facilmente)	0.003-0.01	$2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$
II	Consolidato (terreno che può essere scavato utilizzando una pala)	0.001-0.003	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$
III	Duro (terreno che non può essere scavato con una pala ma necessità di un piccone)	0.0001-0.001	$6 \times 10^{-6} - 6 \times 10^{-5}$
IV	Duro consolidato (terreno che scavato difficilmente utilizzando un martello)	<0.0001	< 6×10^{-6}

Il modello semplificato di propagazione illustrato considera i soli fenomeni previsti in un terreno supposto omogeneo ed isotropo, nel caso si abbia propagazione in presenza di edifici dalla struttura complessa, collegati al terreno mediante sistemi di fondazione, è evidente che i livelli di accelerazione riscontrabili all'interno risultino "filtrati" dalla funzione di trasferimento del sistema struttura edilizia.

In particolare, diversi sistemi di fondazione producono una attenuazione più o meno pronunciata dei livelli di accelerazione misurabili sulla fondazione stessa rispetto a quelli nel terreno circostante; tale aspetto è legato al fatto che l'interfaccia terreno-struttura non è perfettamente solidale, e pertanto genera fenomeni dissipativi o di amplificazione.

3.1.5.2 Sorgenti in profondità

Nel caso dell'attività di cantiere ove intervenga necessità di realizzazioni di opere in profondità (palificazione, ecc.), la valutazione della legge di propagazione delle vibrazioni con la distanza è più

complessa, in quanto non si ha più la semplice legge di propagazione delle onde superficiali, ma si ha a che fare con una sorgente posta in profondità, che dà luogo alla propagazione di onde di volume. Si consideri ora lo schema di emissione illustrato nella seguente figura:

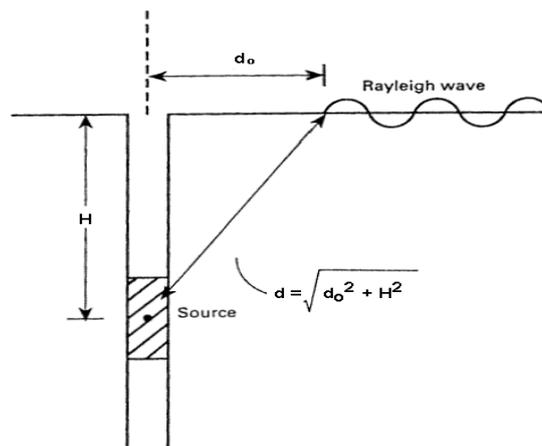


Figura 36. Schema della propagazione a partire da una sorgente profonda

Si può notare che, rispetto all'emissione di onde di superficie da parte di una sorgente concentrata posta sulla sommità del suolo, al recettore arrivano onde che hanno compiuto un percorso più lungo, e che si sono maggiormente attenuate lungo tale percorso a causa della legge di divergenza volumetrica anziché superficiale.

Considerando che l'epicentro di emissione si collochi circa ad 1/2 della lunghezza dell'elemento infisso, ovvero, per un palo di 9 m, a circa 5 m di profondità, si ha la seguente espressione relativa alla propagazione delle vibrazioni con cui è possibile calcolare il livello di accelerazione sulla superficie del suolo in funzione della distanza d_0 (misurata in orizzontale, sulla superficie) fra l'asse del palo ed il recettore.

$$a(d_0, f) = a(d_0, f) \cdot \left[\frac{d_0}{\sqrt{D^2 + H^2}} \cdot e^{-2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{\eta}{c} (\sqrt{D^2 + H^2} - d_0)} \right]$$

Il calcolo verrà eseguito assumendo che:

- il recettore si trovi ad una profondità di 3 m sotto il piano di campagna, poiché questa è la quota a cui si trovano in media le basi delle fondazioni degli edifici;
- rispetto a tale posizione, poiché l'epicentro di emissione è posto a 5 m di profondità, H assume un valore pari a 2 m;
- la distanza D a cui si è rilevato strumentalmente lo spettro di vibrazioni dovuto alla lavorazione in profondità è 5 m.



3.1.5.3 Sintesi delle ipotesi assunte

Il calcolo dei livelli vibrazionali ai ricettori, in condizioni di campo libero, risultanti dalle configurazioni dei macchinari da cantiere previsti negli scenari analizzati è stato condotto considerando una legge di attenuazione stabilita sulla base delle seguenti assunzioni:

- le macchine da cantiere sono assunte come sorgenti puntuali;
- l'attenuazione dissipativa del mezzo è stata calcolata secondo un approccio teorico semplificato basato sull'ipotesi di mezzo debolmente dissipativo e campo vibratorio costituito in prevalenza da onde di superficie del tipo di Rayleigh;
- il terreno si ipotizza di tipo consolidato, appartenente alla Classe II ($\rho < 1.5 \times 10^{-4}$), e di categoria C ($c=300\text{m/s}$; $\eta=0.04$);
- l'attenuazione geometrica afferente alla sorgente puntuale che lavora in superficie (escavatore, autocarro, pala, autocarro, ecc.) è stata assunta proporzionale a r^{-1} , mentre quella che opera in profondità è stata considerata con una legge di attenuazione proporzionale a $r^{-0.5}$;
- l'epicentro di emissione, nel caso di sorgenti profonde, si collochi circa ad $1/2$ della lunghezza dell'elemento infisso nel terreno;
- i livelli vibrazionali a distanze crescenti dalla sorgente corrispondenti agli scenari analizzati sono dati dalla combinazione, frequenza per frequenza, degli spettri di vibrazione relativi alle singole macchine di cantiere, mediante radice quadrata della somma dei quadrati delle ordinate spettrali relative alle singole macchine.

3.1.6 Valutazione degli aspetti ambientali legati al cantiere

3.1.6.1 Fase di cantiere

Con riferimento alle vigenti normative, le attività di cantiere possono essere definite come sorgenti di vibrazione intermittente. Un ricettore adiacente all'area di cantiere è infatti soggetto ad una serie di eventi di breve durata, separati da intervalli in cui la vibrazione ha una ampiezza significativamente più bassa. In relazione alle attività lavorative di cantiere previste per la realizzazione dell'opera in esame, sono stati individuati scenari di cantiere critici per il potenziale impatto in termini di vibrazioni sull'ambiente circostante.

In particolare, le emissioni vibrazionali durante le lavorazioni possono legate agli impianti fissi/semifissi nei diversi cantieri stabili, e discontinue, dovute alle lavorazioni nelle aree di cantiere e nei fronti di avanzamento.

Lo studio, di seguito riportato, relativamente alla fase di cantiere, analizza le seguenti macro-fasi di lavorazione propedeutiche alla realizzazione dell'opera:



- OOCC Sottostrutture viadotto;
- OOCC Linea.

Per le OOCC Stazioni gli effetti delle vibrazioni si considerano comprese all'interno delle aree di OOCC Sottostrutture viadotto.

Si rammenta come l'impatto vibrazionale nelle simulazioni numeriche sarà valutato secondo al UNI 9614:2017 con il confronto con i valori di riferimento per il disturbo alle persone.

3.1.6.2 Definizione del tipo di sorgente

Analizzando le principali sorgenti previste in funzione delle attività lavorative, si conviene come esse siano sostanzialmente raggruppabili in macchine operatrici ed in mezzi adibiti al trasporto, le prime hanno una distribuzione spaziale abbastanza prevedibile e delimitata all'interno dell'area di lavoro e stoccaggio mentre, i secondi si distribuiscono lungo il percorso che collega il fronte di avanzamento lavori ai luoghi di approvvigionamento o di stoccaggio.

Gli scenari in esame sono stati definiti avendo come prima finalità quella di fornire risultati sufficientemente cautelativi. Si sottolinea tuttavia come le situazioni esaminate non possano comunque rappresentare tutti i macchinari potenzialmente presenti in contemporanea all'interno dell'area di cantiere. La valutazione dei livelli vibrazionali è stata quindi condotta a fronte dell'acquisizione degli spettri di emissione dei macchinari di cantiere sopra citati utilizzando dati bibliografici o rilevati. Gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza di circa 5m dalla sorgente vibratoria e sono afferenti alla componente verticale, la quale sarà assunta come componente principale del vettore di propagazione delle vibrazioni (vettore immissione).

In generale, nelle aree di cantiere ove sono presenti gli impianti fissi (betonaggio, lavorazioni di dettaglio su eventuali prefabbricati, ecc.) le emissioni di vibrazioni risultano usualmente più contenute rispetto a quelle presenti sul cantiere in linea poiché la natura stessa delle lavorazioni determina minori sollecitazioni meccaniche sul terreno e, di conseguenza, minore trasmissione di energia meccanica verso i potenziali ricettori.

Il calcolo del livello di vibrazione in condizioni di campo libero sarà definito nell'intorno del cantiere con una risoluzione di circa 5 m nelle direzioni orizzontali (piano di campagna), ottenendo il grafico della propagazione delle vibrazioni in funzione della distanza.

Di seguito si riporta la definizione dello scenario operativo.

La metodologia assunta per l'analisi delle interferenze riferita alla fase di cantierizzazione si basa sulla teoria del "Worst Case" Scenario. Tale metodo individua la condizione operativa di cantiere più gravosa in termini di emissioni di vibrazioni sul territorio in modo che verificandone le condizioni di esposizione del territorio alle vibrazioni indotte rispetto ai limiti della UNI 9614:2017 possano essere individuate le eventuali soluzioni di mitigazione più opportune al fine di contenere il disturbo sui ricettori più esposti. L'analisi tiene conto dell'insieme delle diverse attività di cantiere in funzione della localizzazione delle diverse aree di lavoro.

In virtù della particolare configurazione operativa del cantiere nel caso specifico lo studio è stato condotto raggruppando le configurazioni con la medesime lavorazioni, in modo da rappresentare in modo maggiormente cautelativo la configurazione operativa.

Data quindi la differente localizzazione spaziale delle principali aree di lavoro, e in considerazione che in prossimità di alcune realizzazioni sono presenti ricettori, lo studio previsionale delle vibrazioni prende in considerazione i seguenti scenari che saranno usati per valutare le macro-fasi di lavoro:

- Scenario 01 – Realizzazione pile del viadotto durante il periodo diurno;
- Scenario 02 – Assemblaggio e posa impalcato in periodo notturno.

Per ciascun scenario è stata considerata la condizione operativa potenzialmente più impattante definita sulla scorta dei ricettori presenti, lavorazioni previste, impianti e macchinari presenti, caratteristiche emissive e maggior frequenza di esecuzione.

Per gli scenari sono stati considerati i seguenti mezzi che per eseguire una valutazione conservativa, si ipotizza lavoreranno simultaneamente. Per quanto riguarda l'orario di lavoro, si assume una operatività, su un turno da 6 ore attivo nel periodo diurno, quindi tra le 6:00 e le 22:00 per la realizzazione delle pile viadotto e su un turno da 3 ore attivo nel periodo notturno, quindi tra le 22:00 e le 6:00 per l'assemblaggio e posa dell'impalcato.

Tabella 24. Pacchetti lavorazioni cantieri mobili

Gruppo lavorazioni	Mezzo	Numero
Lavorazione FAL OOCC Sottostrutture viadotto FAL – Realizzazione Pile viadotto	Palificatrice (150-250 kW)	1
	Auto gru (100-300 kW)	1
	Pompa cls	1
	Escavatore	1
	Autocarro	3
Lavorazione FAL OOCC Linea FAL – Assemblaggio e posa in notturna, una notte ad impalcato	Auto gru (100-300 kW)	2
	Autocarro	3

La valutazione dei livelli vibrazionali è stata quindi condotta a fronte dell'acquisizione degli spettri di emissione dei macchinari di cantiere utilizzando dati bibliografici e misure dirette in campo. Gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza di circa 5m dalla sorgente vibratoria e sono afferenti alla sola componente verticale considerata quella che fornisce il contributo maggiore sul vettore immissione.

Si precisa, infine, che stante l'indisponibilità di dati sperimentali per tutti i macchinari presenti nel cantiere in esame, si è proceduto utilizzando quelli di macchine in grado di trasmettere al terreno sollecitazioni di simile entità, ma di cui sia noto lo spettro.

Di seguito le tabelle ed i grafici di caratterizzazione delle sorgenti di vibrazioniⁱ individuate negli scenari di riferimento. I valori seguenti sono espressi in mm/s².

Scenario 1 - OOCC sottostrutture viadotto
FAL – Realizzazione Pile viadotto

Mezzi attivi	D. (m)	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
Palificatrice assimilata a martello idraulico in attività su fondazione profonda	5	2,55	3,98	3,17	2,82	3,77	7,94	14,13	17,78	25,12	56,23	25,16	17,98	31,62	59,31	82,91	100,00	113,48	89,13	79,43	74,99
Escavatore cingolato (tipo Fiat-Hitachi FH300 o similari)	5	0,32	0,20	0,19	0,12	0,20	0,26	0,24	0,25	0,28	0,30	0,98	1,88	9,89	13,34	16,79	12,59	12,02	28,84	51,88	8,41
Autogrù, pompa cls e autocarro assimilati ad Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari)	5	0,89	1,12	0,71	0,50	0,47	0,45	0,33	1,26	2,11	2,00	2,04	5,75	3,76	3,55	3,55	2,24	1,50	0,89	1,06	1,33

Scenario 2 - OOC Linea

FAL – Assemblaggio e posa in notturna, una notte ad impalcato

Mezzi attivi	D. (m)	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80
Autogrù e autocarro assimilati ad Autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari)	5	0,89	1,12	0,71	0,50	0,47	0,45	0,33	1,26	2,11	2,00	2,04	5,75	3,76	3,55	3,55	2,24	1,50	0,89	1,06	1,33

Di seguito i grafici degli spettri delle sorgenti dei macchinari con confronto con curva di percezione della UNI 9614 per l'asse Z. Come è possibile riscontrare le lavorazioni che potrebbero generare fenomeni di "annoyance" è la palificazione e, limitatamente, l'escavazione in periodo diurno.

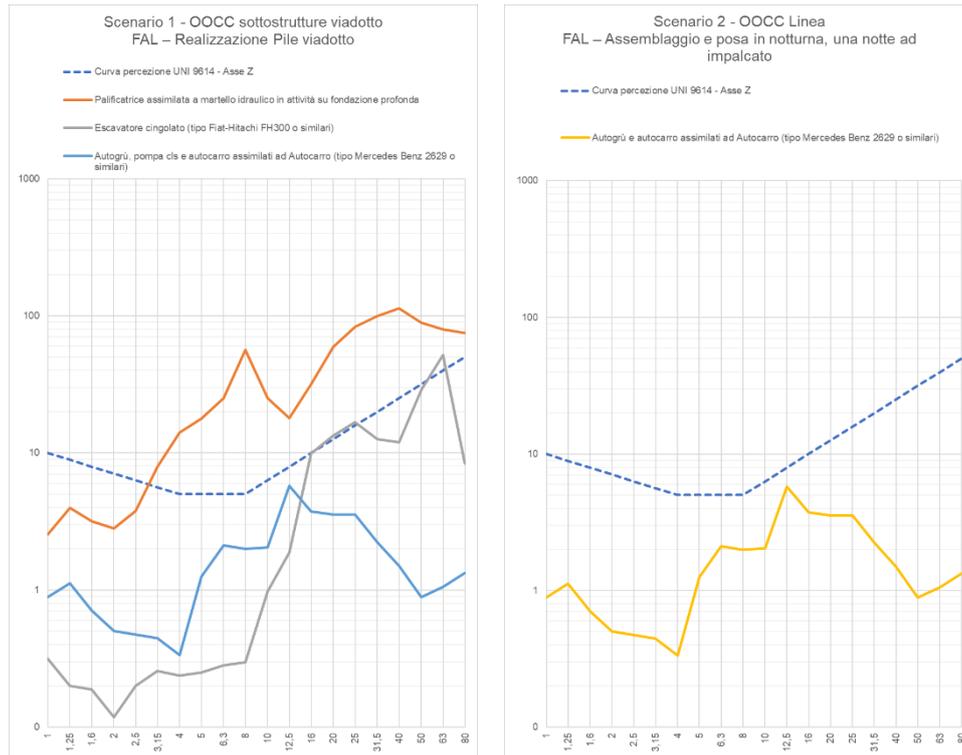


Figura 37. Spettri delle sorgenti dei macchinari con confronto con curva di percezione della UNI 9614 per l'asse Z

3.1.6.3 Valutazione della propagazione delle vibrazioni

Dall'analisi della propagazione dello spettro, per ogni distanza della sede dell'attività di lavoro, è agevole calcolare il livello complessivo di accelerazione ponderata, come somma dei livelli delle singole frequenze. In questo modo è stata calcolata la legge di variazione del livello di accelerazione ponderata in funzione della distanza, la quale è mostrata graficamente di seguito, per ogni scenario.

Nelle figure seguenti sono riportate la propagazione dello spettro nel terreno per gli scenari di lavorazione.

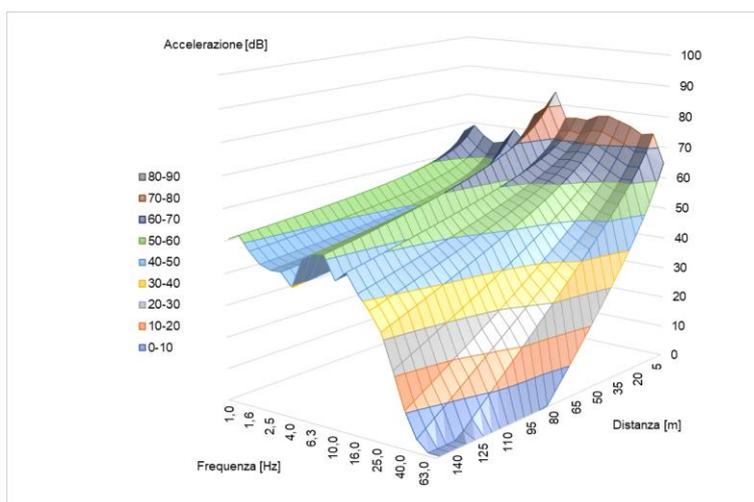


Figura 38. Propagazione dei livelli di accelerazione in dB per singola frequenza per lo scenario OOCC sottostrutture viadotto

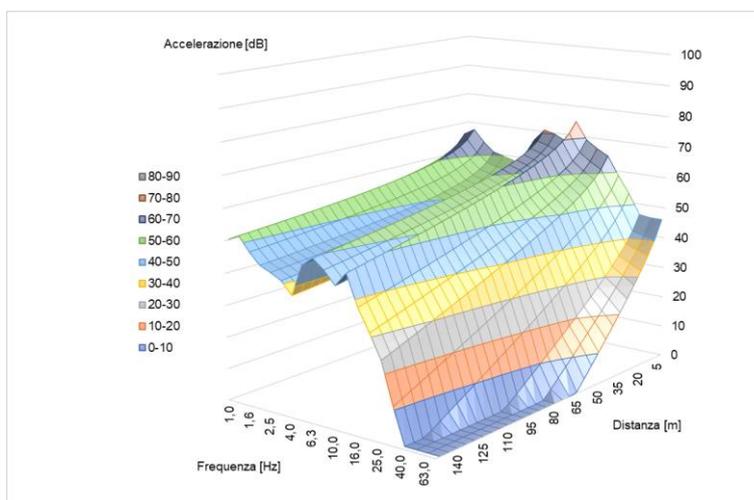


Figura 39. Propagazione dei livelli di accelerazione in dB per singola frequenza per il pacchetto OOCC linea

3.1.6.4 Stima dei futuri livelli vibrazionali

Il modello di propagazione illustrato fa riferimento ai soli fenomeni che avvengono nel terreno, supposto omogeneo ed isotropo (perlomeno all'interno di ogni strato), senza tenere in considerazione per il momento la presenza di edifici dalla struttura complessa, collegati al terreno mediante sistemi



di fondazione che possono comportare variazioni dei livelli di accelerazione riscontrabili all'interno degli edifici stessi.

I sistemi fondazione in generale producono, in modo condizionato alla tipologia, un'attenuazione più o meno pronunciata dei livelli di accelerazione misurabili sulla fondazione stessa rispetto a quelli nel terreno circostante.

Inoltre, si rammenta il fenomeno della risonanza strutturale di elementi dei fabbricati, con particolare riferimento ai solai: quando infatti la frequenza dell'evento eccitante coincide con la frequenza naturale di oscillazione libera della struttura, quest'ultima registra un significativo incremento dei livelli di vibrazione rispetto a quelli registrabili sull'interfaccia terreno - costruzione.

Una stima dell'effetto locale di riduzione/amplificazione di ciascun edificio è possibile parametrizzando gli effetti combinati secondo curve empiriche che consentono la stima dei livelli di vibrazione in funzione dei livelli di vibrazione del terreno.

Sulla base di tali ipotesi, diviene possibile stimare in maniera approssimata per ogni edificio, note le sue caratteristiche costruttive, l'eventuale variazione massima sul solaio più sfavorito.

In merito alla previsione relativamente alla UNI 9614:2017 nelle seguenti considerazioni sull'entità dell'impatto vibrazionale presso i ricettori, avendo assunto per edifici residenziali un valore limite ammissibile pari a $7,2 \text{ mm/s}^2$ in virtù del periodo di lavoro diurno e $3,6 \text{ mm/s}^2$ nel periodo notturno, si applicherà un fattore che tenga conto della possibile sovramplicazione da parte della struttura dell'edificio ricettore (assunta mediamente pari a +5dB) permettendo così la valutazione all'interno degli edifici.

In relazione al Vettore Residuo, esso sarà determinato da dati di letteratura e/o da indagini in luoghi analoghi. Da analisi sperimentali si rileva che il vettore residuo a circa 15 m da una infrastruttura possa essere circa $0,8 \text{ mm/s}^2$. Nel modello, al fine della determinazione di V_{sorg} ed in modo da individuare una predizione conservativa, sarà usato il valore di residuo pari a $0,6 \text{ mm/s}^2$.

Dall'analisi della propagazione spaziale del valore complessivo ponderato dell'accelerazione (Vettore Immissione) per gli scenari individuati e considerando il Vettore residuo, si determina il Vettore Sorgente.

Di seguito l'analisi per ogni scenario individuato.

Scenario 1 – OOC sottostrutture viadotto: Per questo scenario di lavoro il limite del periodo diurno di $7,2 \text{ mm/s}^2$ per i ricettori residenziali si considera cautelativamente raggiunto ad una distanza di circa 30 m. Considerando i possibili effetti di amplificazioni prodotti dagli edifici (assunti pari a +5 dB), è raggiunto a una distanza di circa 45 m.

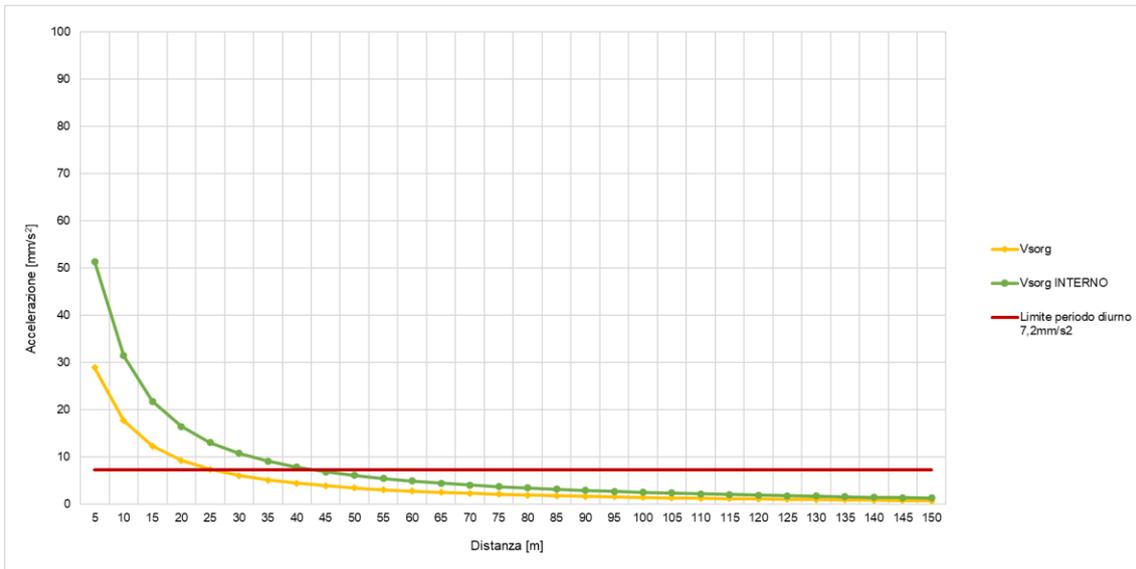


Figura 40. Propagazione dei livelli di accelerazione stimati sui ricettori residenziali per lo Scenario 1 – OOC sottostrutture viadotto

Scenario 2 – OOC Linea: Per questo scenario di lavoro il limite del periodo notturno di $3,6 \text{ mm/s}^2$ per i ricettori residenziali si considera cautelativamente raggiunto ad una distanza di circa 30 m. Considerando i possibili effetti di amplificazioni prodotti dagli edifici (assunti pari a +5 dB), è raggiunto a una distanza di circa 55 m.

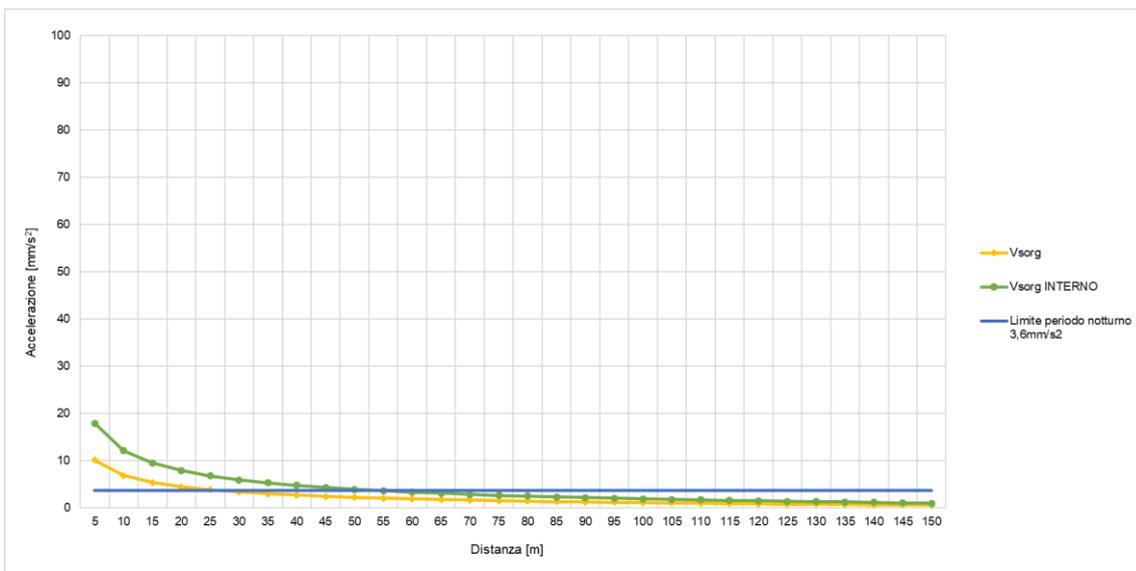


Figura 41. Propagazione dei livelli di accelerazione stimati sui ricettori residenziali per lo scenario 2 – OOC Linea

Dall'analisi del cronoprogramma fornito, ed in particolare dell'articolazione temporale prevista per le attivazioni delle diverse aree di cantiere mobile coinvolte nel corso dei diversi semestri, si è proceduto ad individuare le fasi in cui si assiste alla massima contemporaneità di attivazione delle aree stesse. Per la definizione di scenari di simulazione opportunamente cautelativi e rappresentativi, le fasi di durata semestrale che da cronoprogramma risultano condividere l'attivazione di una stessa area di cantiere sono state incluse nello stesso scenario di simulazione; le singole aree isolate la cui attivazione non risulta contemporanea a quella di nessun'altra, sono state simulate, in un'ottica cautelativa, insieme alle aree interessate da contemporaneità ad esse maggiormente prossime.

Dall'analisi effettuata secondo i criteri appena esposti, sono stati definiti dunque i seguenti quattro scenari di simulazione:

Tabella 25. Sintesi distanze dal confine dell'area di cantiere per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti i limiti

Nome scenario	Periodo	Attività inclusa	Cantieri mobili attivi	Distanza in m del limite Diurno di 7,2 mm/s ² interno agli edifici	Distanza in m del limite Notturno di 3,6 mm/s ² interno agli edifici
Scenario 1a	diurno	Realizzazione pile viadotto (attività 1) OCC sottostrutture viadotto	E1-D5-D4-C5-C4-C3-C2 (gruppo a)	45	Lavorazioni non attive
Scenario 1b	diurno	Realizzazione pile viadotto (attività 1) OCC sottostrutture viadotto	D3-D2-D1-C1-B5-B4-B3-B2-B1-B0-A5-A4-A3-A2-A1-A0 (gruppo b)	45	Lavorazioni non attive
Scenario 2a	notturno	Assemblaggio e posa in notturna, una notte ad impalcato (attività 2) OCC linea	E1-D5-D4-C5-C4-C3-C2 (gruppo a)	Lavorazioni non attive	55
Scenario 2b	notturno	Assemblaggio e posa in notturna, una notte ad impalcato (attività 2) OCC linea	D3-D2-D1-C1-B5-B4-B3-B2-B1-B0-A5-A4-A3-A2-A1-A0 (gruppo b)	Lavorazioni non attive	55

Gli scenari di simulazione definiti, si differenziano per tipologia di attività inclusa (l'attività 1 di realizzazione pile e l'attività 2, di assemblaggio e posa in notturno) e per diversa articolazione temporale (il gruppo di aree con attività previste negli anni 2027 – 2029 e appartenenti al solo Lotto 1 è indicato come gruppo a, il gruppo di aree con attività previste negli anni 2029 – 2031 e appartenenti sia al Lotto 1 che al Lotto 2, è indicato come gruppo b).

Sulla base delle simulazioni sulla propagazione delle vibrazioni valutate ai suddetti scenari saranno stimati i ricettori eventualmente coinvolti dalle vibrazioni.

Considerando, la vicinanza alle lavorazioni delle strutture si segnala l'eventualità di alcune criticità legate al possibile superamento della soglia di disturbo in dipendenza dalla distanza dei potenziali ricettori nel periodo di riferimento.

A seguito di ciò si dovranno adottare le misure al fine del contenimento delle vibrazioni, quale la buona pratica di conduzione delle attività di cantiere ed eventualmente procedere ad una valutazione di maggior dettaglio con la redazione del "piano di gestione dell'impatto vibrazionale di cantiere" e la predisposizione di un monitoraggio per la verifica puntuale dei risultati predetti.

Di seguito alcuni stralci planimetrici in cui è possibile individuare la tipologia e numero di ricettori per i quali è stato stimato un probabile superamento del limite interno all'edificio.

Le valutazioni sono eseguite in base all'individuazione delle opere di cui è prevista la realizzazione con l'applicazione delle ampiezze di propagazione delle vibrazioni, in base agli scenari di lavorazione individuate in precedenza.

Di seguito la legenda dei tipologici di ricettore.

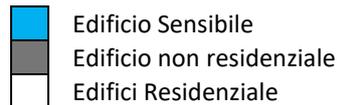


Figura 42. Legenda tipologia edifici

3.1.6.5 Individuazione scenari maggiormente critici

L'individuazione degli scenari di cantiere maggiormente critici è stata basata sull'analisi del cronoprogramma delle lavorazioni e delle condizioni maggiormente cautelative.

In particolare, sono stati individuati quattro scenari rappresentativi, riassunti nella tabella seguente. Gli scenari includono il momento di maggiore sovrapposizione delle sorgenti di ciascuna macrofase e sono in numero di uno per ciascuna fase.

Tabella 26. Sinottico scenario di cantiere

Nome scenario	Periodo	Lavorazione	Aree di cantiere
Scenario 1a	diurno	Realizzazione pile viadotto (<i>attività 1</i>) OCC sottostrutture viadotto	E1-D5-D4-C5-C4-C3-C2 (gruppo a)
Scenario 1b	diurno	Realizzazione pile viadotto (<i>attività 1</i>) OCC sottostrutture viadotto	D3-D2-D1-C1-B5-B4-B3-B2-B1-B0-A5-A4-A3-A2-A1-A0 (gruppo b)
Scenario 2a	notturno	Assemblaggio e posa in notturna, una notte ad impalcato (<i>attività 2</i>) OCC linea	E1-D5-D4-C5-C4-C3-C2 (gruppo a)
Scenario 2b	notturno	Assemblaggio e posa in notturna, una notte ad impalcato (<i>attività 2</i>) OCC linea	D3-D2-D1-C1-B5-B4-B3-B2-B1-B0-A5-A4-A3-A2-A1-A0 (gruppo b)

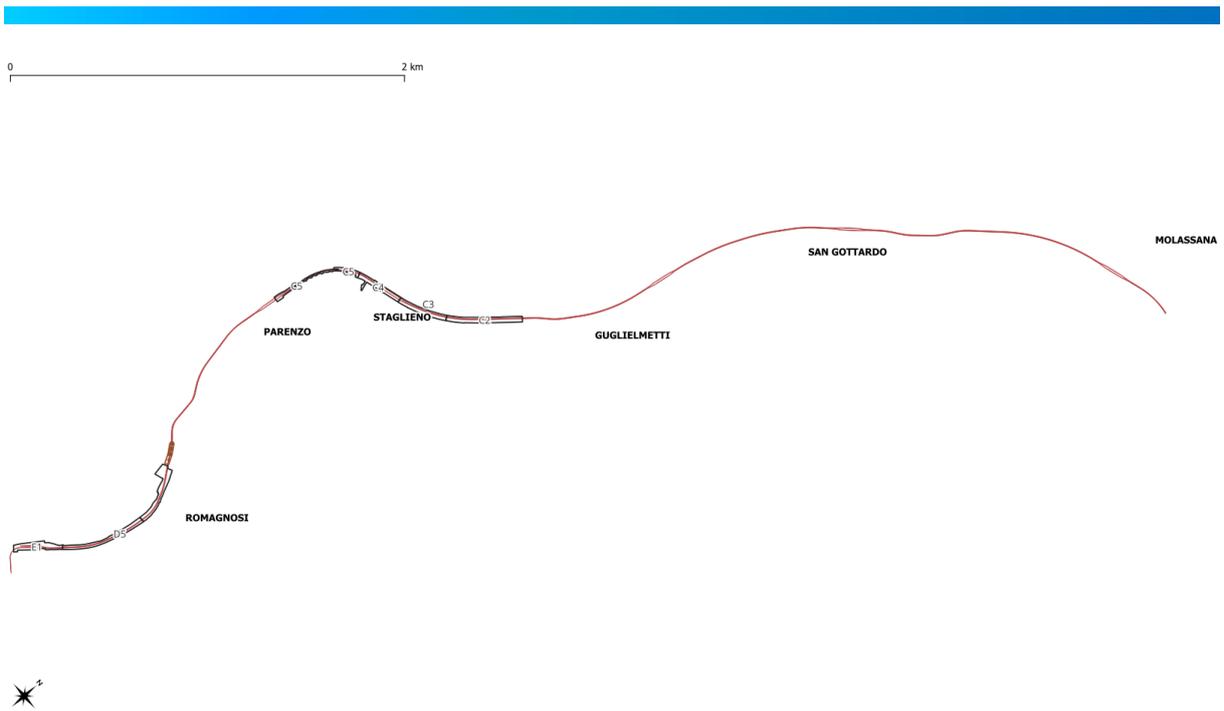


Figura 43. Aree di cantiere valutate attive per lo Scenario 1a e Scenario 2a

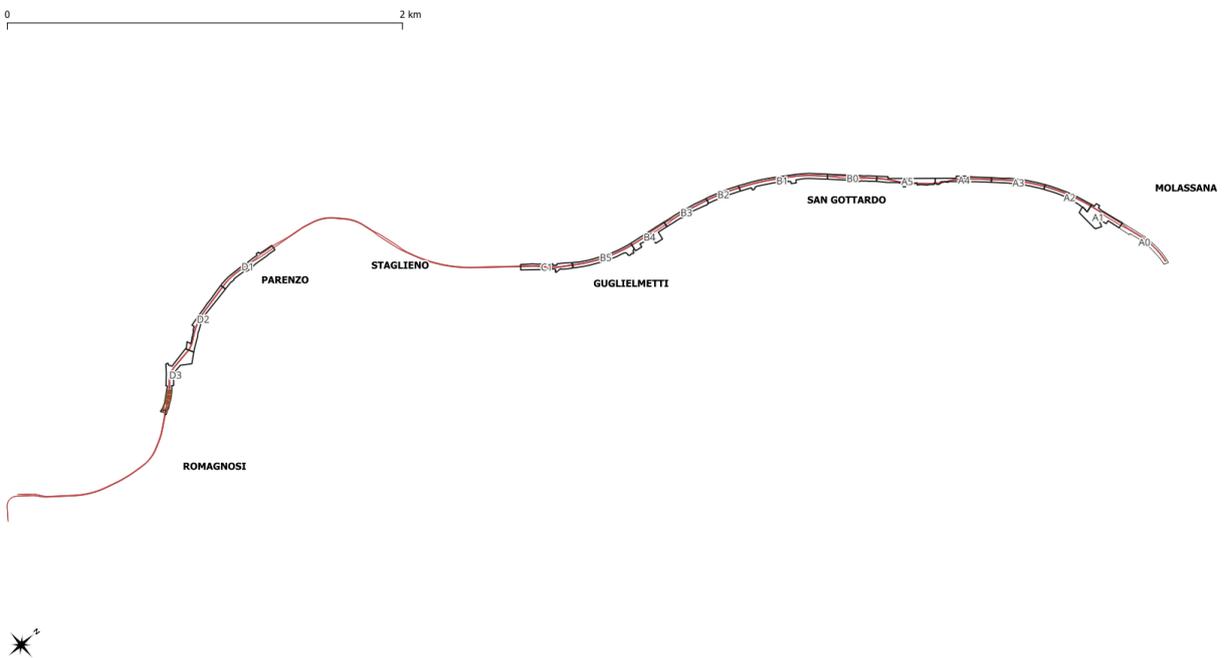


Figura 44. Aree di cantiere valutate attive per lo Scenario 1b e Scenario 2b

3.1.6.5.1 Scenario 1a – Realizzazione pile viadotto – Aree gruppo a – periodo diurno

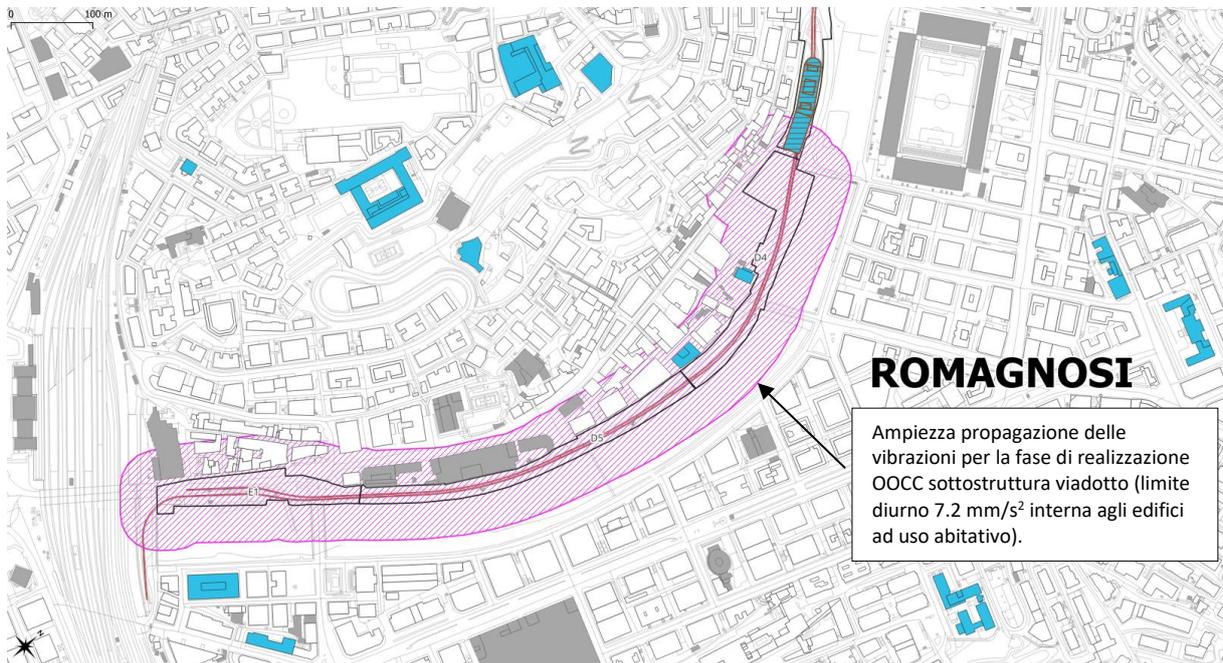


Figura 45. Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite diurno (7.2 mm/s²) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo diurno - Scenario 1a – OOC sottostruttura viadotto

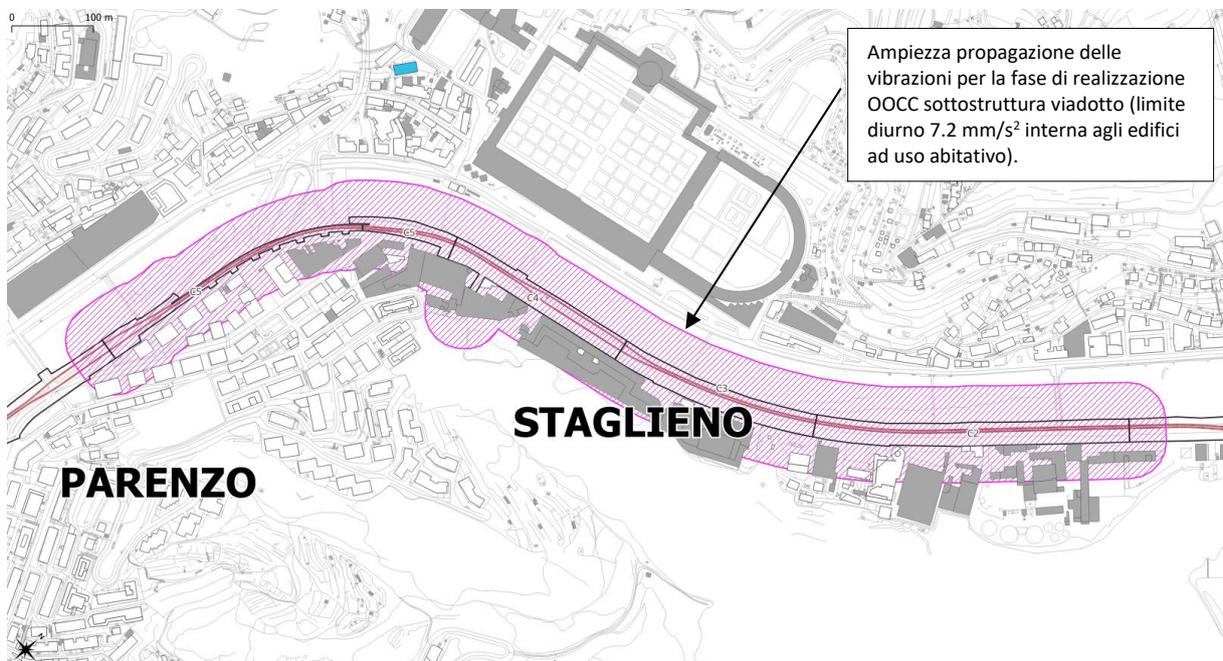


Figura 46. Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite diurno (7.2 mm/s²) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo diurno - Scenario 1a – OOC sottostruttura viadotto

3.1.6.5.2 Scenario 1b – Realizzazione pile viadotto – Aree gruppo b – periodo diurno

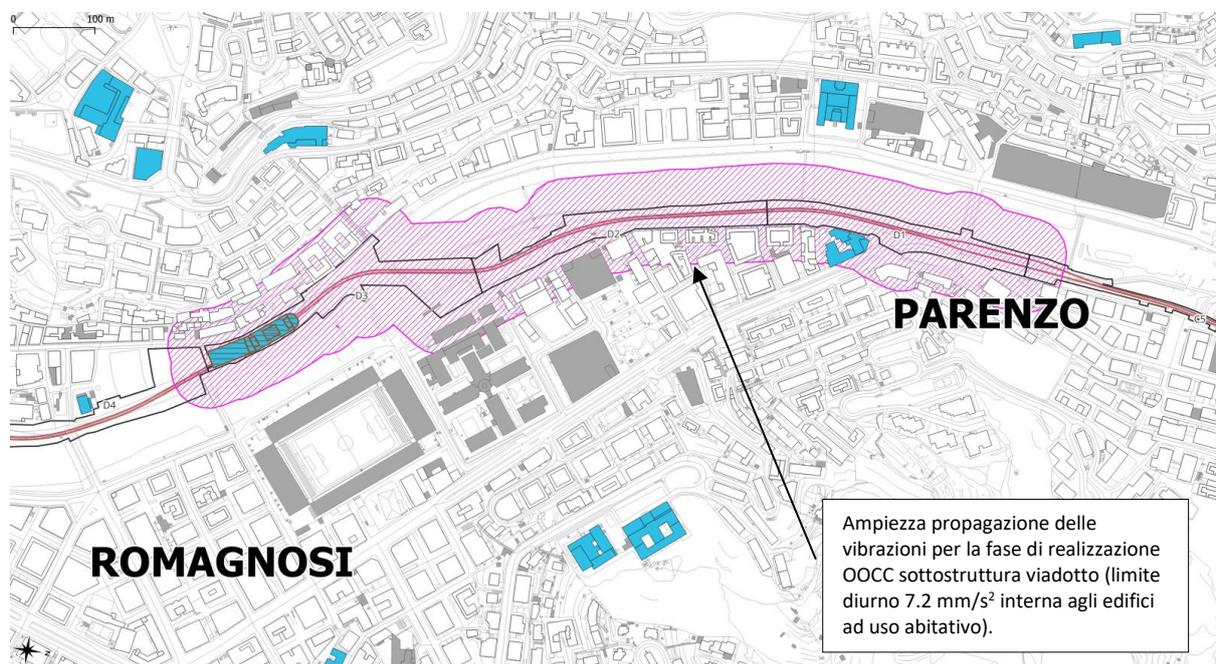


Figura 47. Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite diurno (7.2 mm/s^2) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo diurno - Scenario 1b – OOC sottostruttura viadotto

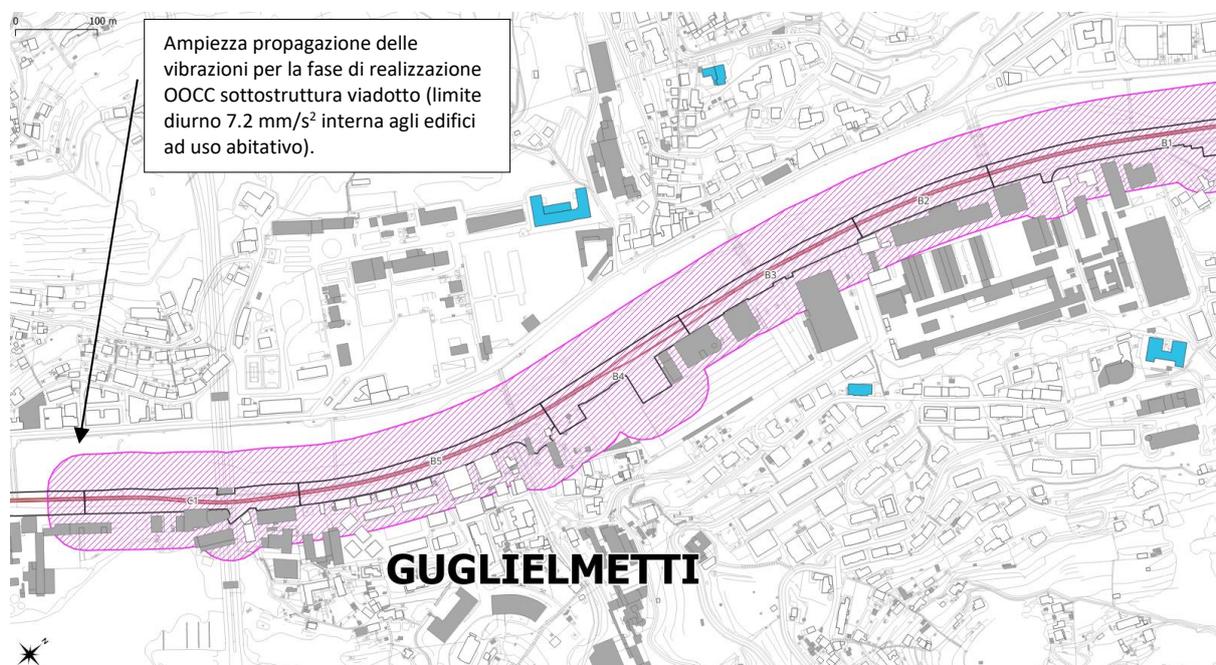


Figura 48. Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite diurno (7.2 mm/s^2) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo diurno - Scenario 1b – OOC sottostruttura viadotto

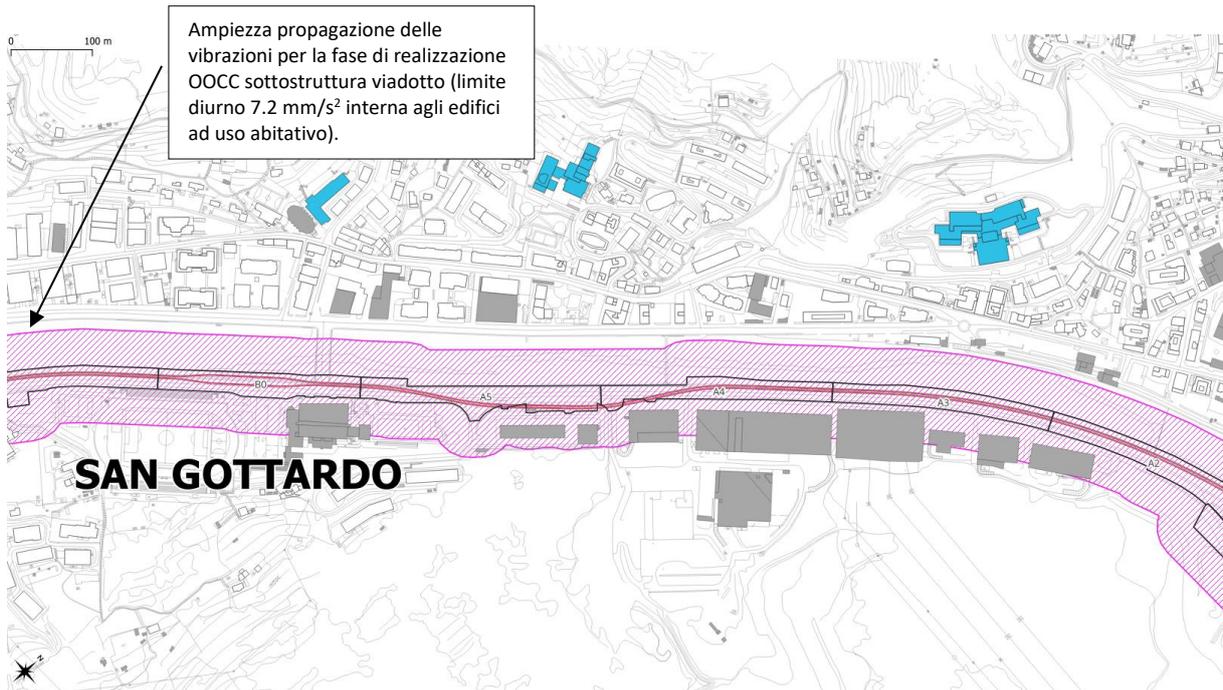


Figura 49. Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite diurno (7.2 mm/s²) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo diurno - Scenario 1b – OOC sottostruttura viadotto

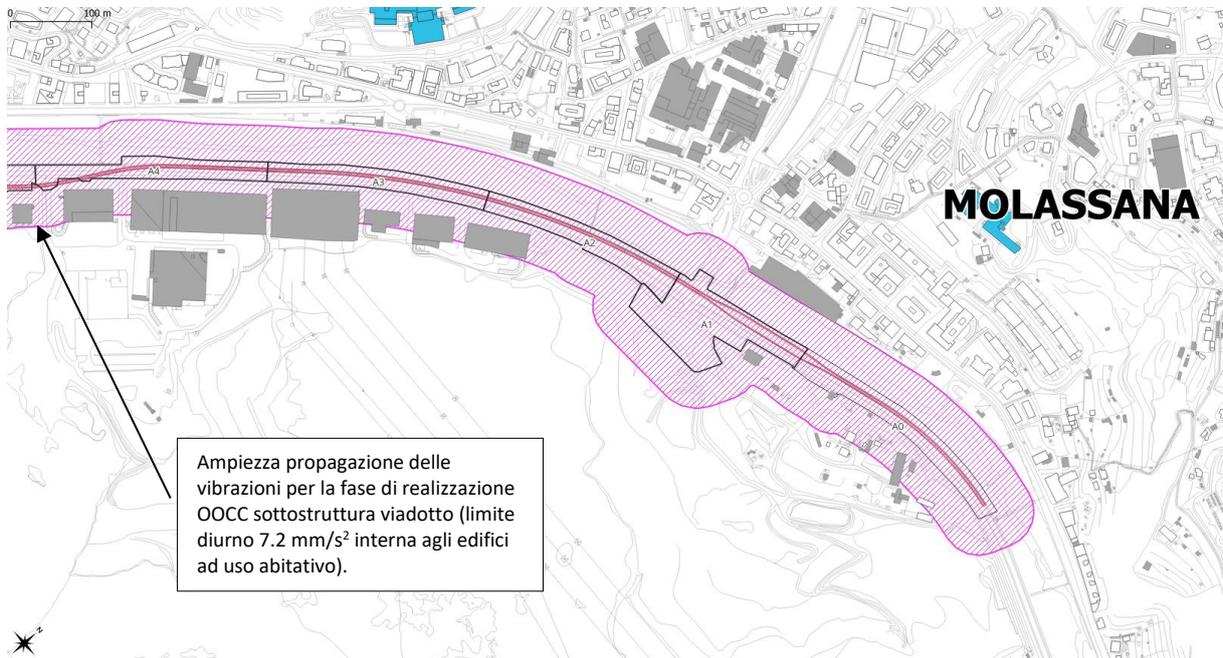


Figura 50. Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite diurno (7.2 mm/s²) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo diurno - Scenario 1b – OOC sottostruttura viadotto

Considerata la particolare localizzazione dell'opera e delle lavorazioni, inserite in un contesto urbanizzato e considerata la prossimità di edifici alle aree di lavoro, si riscontra la possibilità del verificarsi di superamenti del limite diurno ($7,2 \text{ mm/s}^2$) per diversi ricettori residenziali. Inoltre, per il gruppo "a" dei cantieri si stima la possibilità del verificarsi di superamenti del limite diurno per due ricettori sensibili presenti in località Romagnosi, per le lavorazioni afferenti al cantiere D4 e D5. Per il gruppo "b" si stima la possibilità del verificarsi di superamenti del limite diurno per un ricettore sensibile in località Parenzo per le lavorazioni afferenti al cantiere D1.

Per i ricettori residenziali i cantieri, per i quali si stima un contributo delle vibrazioni, che possa determinare il superamento del limite sono, per il gruppo "a": C2; C3; C4; C5; D4; D5 e E1. Per il gruppo "b": A0; B1; B2; B3; B4; B5; C1; D1; D2 e D3.

In dettaglio, lo scenario valutato risulta il maggiormente impattante in termini di disturbo vibrazionale, per le lavorazioni di realizzazione delle sottostrutture del viadotto, infatti, si stima un'ampiezza della propagazione delle vibrazioni di 45 m dalle aree di lavoro.

Si precisa che il possibile impatto sarà concomitante alla fase di lavorazione in prossimità del ricettore e avrà un orizzonte temporale limitato.

3.1.6.5.3 Scenario 2a – Assemblaggio e posa impalcato – Aree gruppo a – periodo notturno

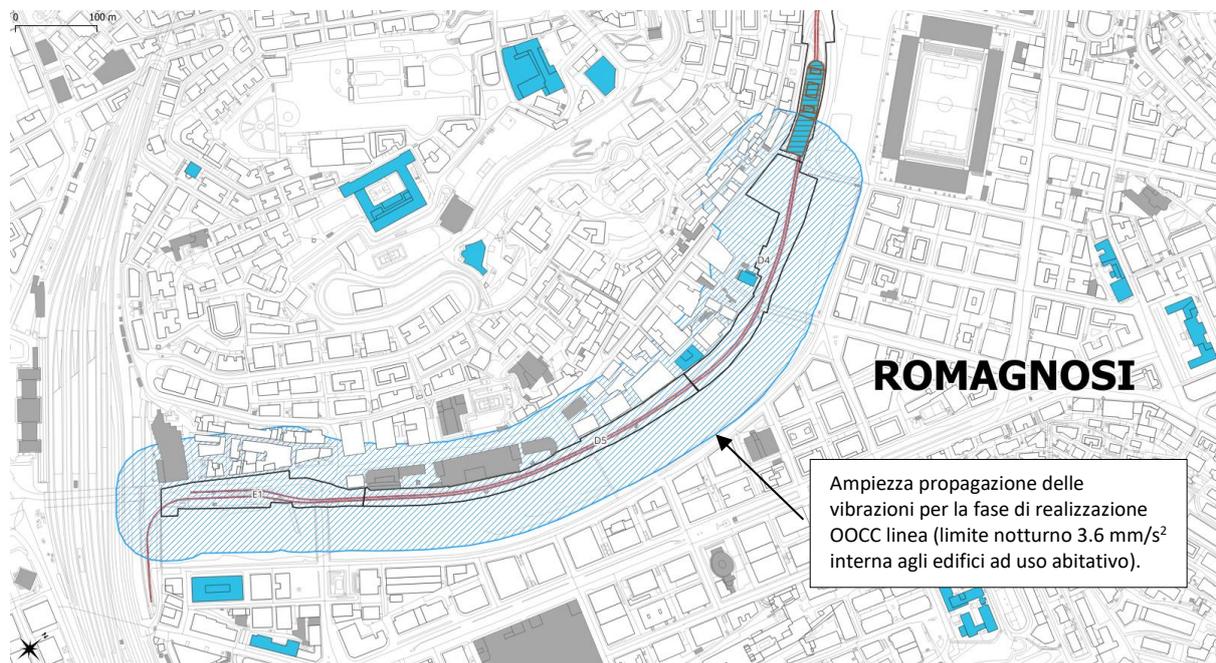


Figura 51. Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite notturno ($3,6 \text{ mm/s}^2$) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo notturno - Scenario 2a – OOCC linea

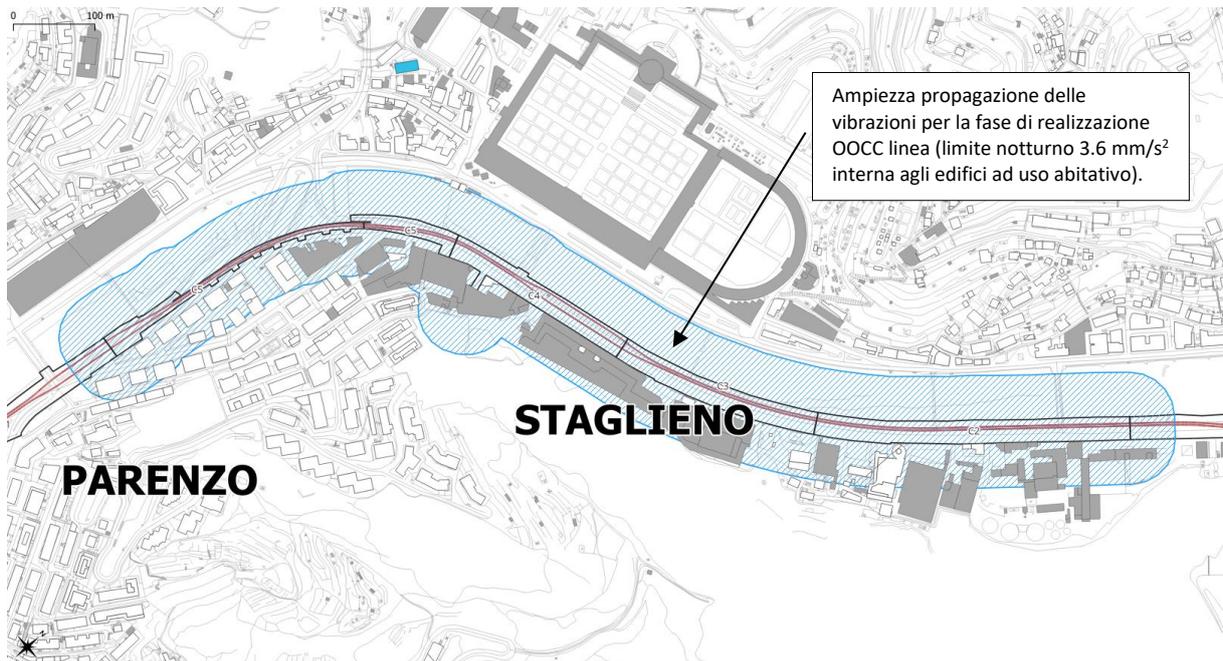


Figura 52. Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite notturno ($3,6 \text{ mm/s}^2$) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo notturno - Scenario 2a – OOCC linea

3.1.6.5.4 Scenario 2b – Assemblaggio e posa impalcato – Aree gruppo b – periodo notturno

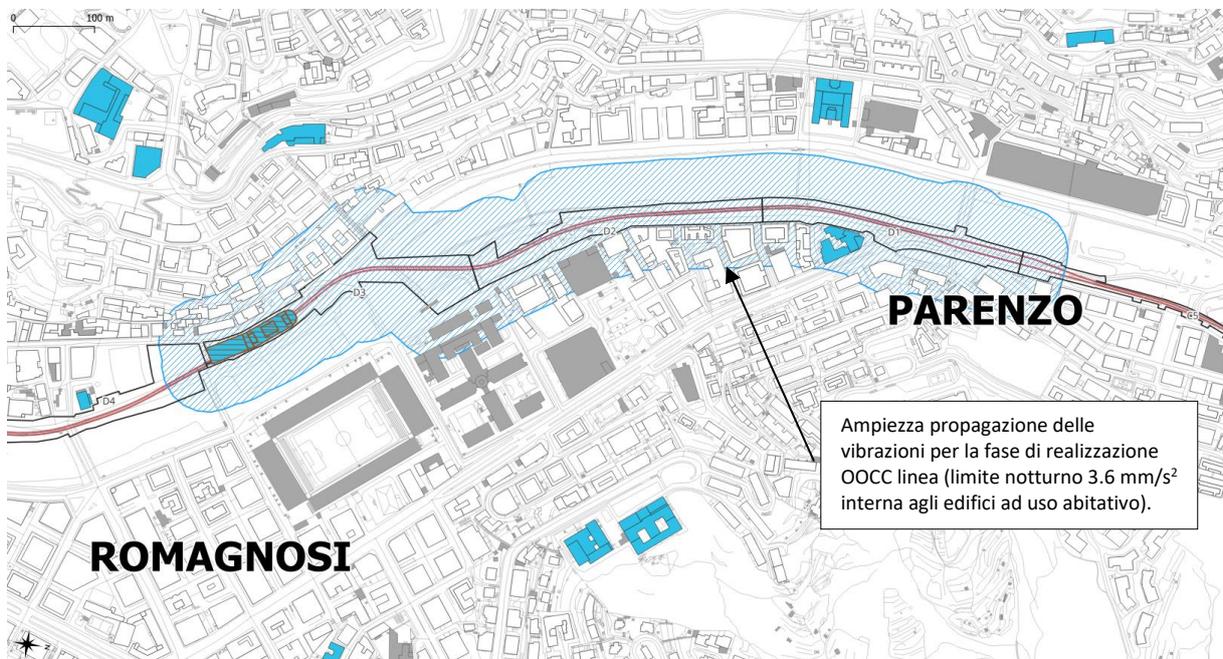


Figura 53. Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite notturno ($3,6 \text{ mm/s}^2$) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo notturno - Scenario 2b – OOCC linea

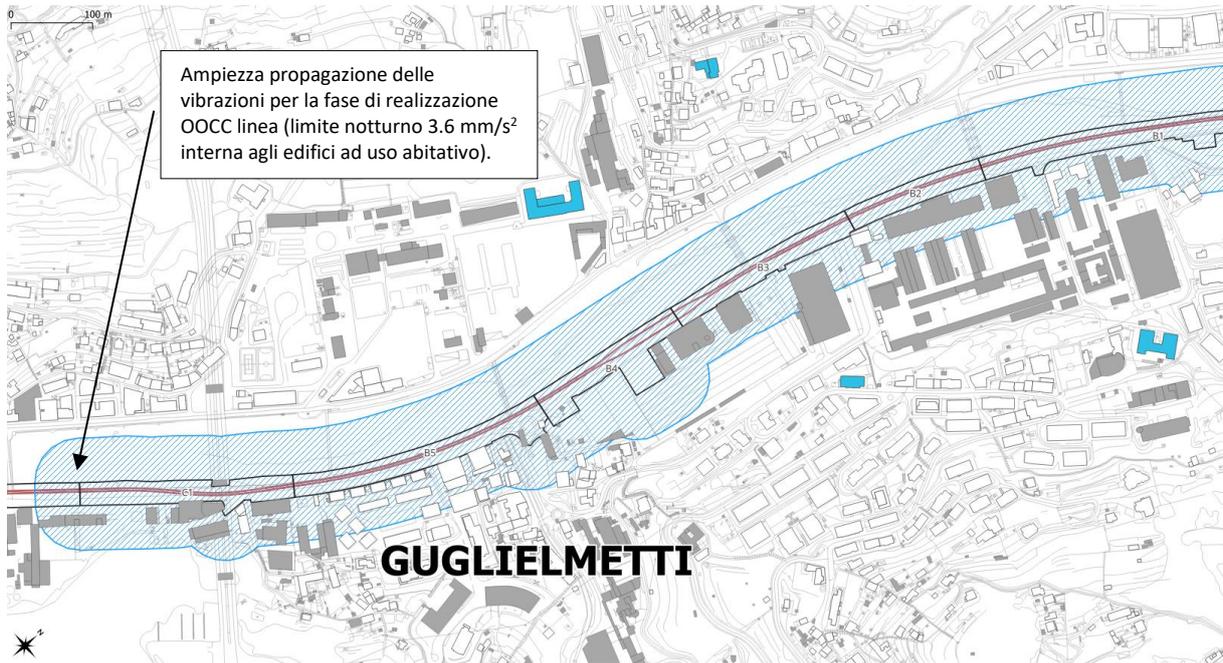


Figura 54. Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite notturno (3,6 mm/s²) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo notturno - Scenario 2b – OOCC linea

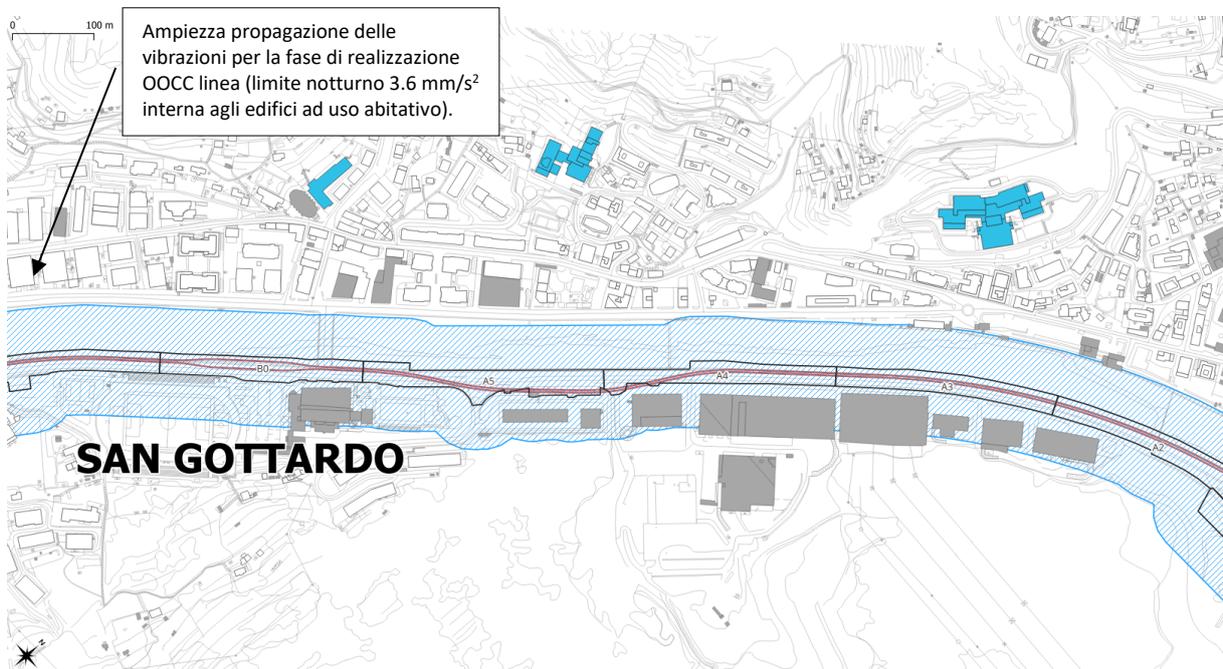


Figura 55. Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite notturno (3,6 mm/s²) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo notturno - Scenario 2b – OOCC linea

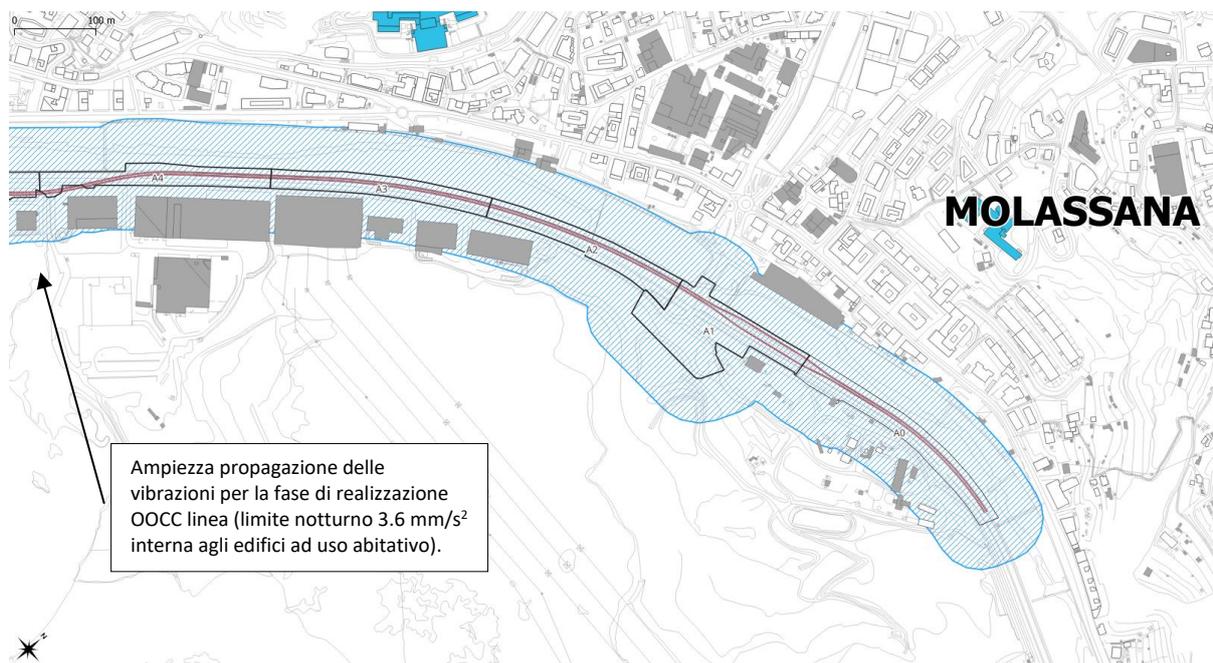


Figura 56. Stralcio area di lavoro per cui si hanno valori di vibrazioni eccedenti il limite notturno ($3,6 \text{ mm/s}^2$) interna agli edifici ad uso abitativo (area evidenziata) – periodo notturno - Scenario 2b – OOCC linea

Analogamente agli scenari del periodo diurno, considerata la particolare localizzazione dell'opera e delle lavorazioni, inserite in un contesto urbanizzato e considerata la prossimità di edifici alle aree di lavoro, si riscontra la possibilità del verificarsi di superamenti del limite notturno ($3,6 \text{ mm/s}^2$) per diversi ricettori residenziali, in particolare, nelle località Romagnosi e Parenzo. I ricettori sensibili essendo scuole, delle quali non è prevista normalmente la fruizione nel periodo notturno, non sono considerati effetti di "annoyance" dovute dalle vibrazioni.

Per i ricettori residenziali i cantieri, per i quali si stima un contributo delle vibrazioni, che possa determinare il superamento del limite sono, per il gruppo "a": C2; C3; C4; C5; D4; D5 e E1. Per il gruppo "b": A0; A3; B1; B2; B3; B4; B5; C1; D1; D2 e D3.

Per le lavorazioni di realizzazione delle opere civili di linea si stima un'ampiezza della propagazione delle vibrazioni di 55 m dalle aree di lavoro.

Si precisa che il possibile impatto sarà concomitante alla fase di lavorazione in prossimità del ricettore e avrà un orizzonte temporale limitato.



3.1.7 Conclusioni

Per lo scenario di Corso d'Opera è stata applicata la metodologia del "Worst Case Scenario". Questo permette di valutare le condizioni di esposizione alle vibrazioni indotte dalle attività di cantiere e di verificare il rispetto dei limiti della norma UNI 9614:2017 nelle condizioni operative più gravose sul territorio, che nel caso positivo, permettono di accertare una condizione di rispetto anche nelle situazioni meno critiche.

Nel modello è stato quindi imputato il layout delle diverse aree di lavorazione ritenute più impattanti nei confronti dei ricettori presenti nell'area.

Per ciascuna macro-fase di lavoro è stata considerata la condizione operativa potenzialmente più impattante definita sulla scorta delle lavorazioni previste, impianti e macchinari presenti, caratteristiche emissive e maggior frequenza di esecuzione. In tal senso le fasi simulate tengono conto della presenza di ricettori della tipologia di lavorazioni previste e della contemporaneità delle stesse. In virtù di quanto detto gli scenari assunti nelle simulazioni previsionali delle vibrazioni sono:

- Scenario 1 – OOCC sottostrutture viadotto;
- Scenario 2 – OOCC linea.

Gli scenari sono stati suddivisi in gruppo "a" e gruppo "b" al fine di considerare l'effettiva presenza delle lavorazioni, in riferimento al cronoprogramma di progetto.

Per le OOCC Stazioni gli effetti delle vibrazioni si considerano comprese all'interno delle aree di OOCC sottostrutture viadotto.

Per quanto concerne le sorgenti di vibrazioni caratterizzanti le aree di cantiere, l'analisi consiste nella verifica dei livelli previsti dalla norma UNI 9614:2017, in relazione alla destinazione d'uso del ricettore. La verifica dei livelli di emissione è stata effettuata considerando il vettore sorgente indotto dai macchinari utilizzati per le lavorazioni.

Le sorgenti emissive presenti all'interno dei cantieri fissi sono state schematizzate all'interno del modello di calcolo come sorgenti di tipo puntuale e posizionate lungo il perimetro dell'area di lavoro in modo da stimare cautelativamente la distanza minima da ogni ricettore.

Dai risultati ottenuti, riportati in precedenza, si evince come possano sussistere condizioni di superamento dei limiti individuati dalla UNI 9614:2017 per diversi ricettori residenziali e tre ricettori sensibili situati nell'area limitrofa alle lavorazioni connesse alla realizzazione della sottostruttura viadotto in periodo diurno e dei soli ricettori residenziali per la realizzazione delle opere civili lungo linea nel periodo notturno.

In dettaglio, per i ricettori residenziali i cantieri, per i quali si stima un contributo delle vibrazioni, che possa determinare il superamento del limite nel periodo diurno (Sc.1a e Sc.1b) sono, per il gruppo "a": C2; C3; C4; C5; D4; D5 e E1. Per il gruppo "b": A0; B1; B2; B3; B4; B5; C1; D1; D2 e D3. Per il periodo notturno i cantieri, che possano determinare il superamento del limite sono, per il gruppo "a": C2; C3; C4; C5; D4; D5 e E1. Per il gruppo "b": A0; A3; B1; B2; B3; B4; B5; C1; D1; D2 e D3. In riferimento ai ricettori sensibili per il gruppo "a" si stima la possibilità del verificarsi di superamenti del limite diurno per due ricettori sensibili presenti in località Romagnosi, per le lavorazioni afferenti al cantiere D4 e



D5. Per il gruppo “b” si stima la possibilità del verificarsi di superamenti del limite diurno per un ricettore sensibile in località Parenzo per le lavorazioni afferenti al cantiere D1.

In termini di disturbo alle persone va evidenziato come in generale tutte le lavorazioni che danno origine a vibrazioni e che potrebbero arrecare disturbo ai residenti, prossimi alle aree di lavoro, si svolgono in orario sia diurno, sia notturno.

In termini di severità, l’impatto atteso si estenderà alla sola limitata durata dei lavori e sarà, quindi, limitato nel tempo. L’ambito nel quale si colloca il progetto, considerando la presenza di alcuni ricettori a distanza ravvicinata rispetto alle aree di cantiere, risulta particolarmente sensibile al fenomeno.

Pertanto, al fine di ridurre il contributo vibrazionale dovuto ai mezzi coinvolti nelle lavorazioni di cantiere risulterà necessario attuare una serie di procedure operative per limitare gli impatti e possibilmente predisporre inoltre un sistema di monitoraggio vibrazionale da attuarsi in corrispondenza delle aree limitrofe abitative per le quali sono risultate criticità. Le Autorità competenti saranno tempestivamente coinvolte al fine di concordare la corretta metodologia di monitoraggio in corso d’opera e la risoluzione di eventuali criticità.

3.1.8 Misure di prevenzione e mitigazione

Al fine di contenere i livelli vibrazionali generati dai macchinari, è necessario agire sulle modalità di utilizzo dei medesimi, sulla loro tipologia e adottare semplici accorgimenti, p.es. quali quelli di tenere gli autocarri in stazionamento a motore acceso il più possibile lontano dai ricettori.

Le misure di dettaglio potrebbero essere definite sulle caratteristiche dei macchinari impiegati e su apposite procedure di condotta delle lavorazioni. In linea indicativa, potrebbero essere osservate le seguenti indicazioni:

- rispettare la norma di riferimento ISO 2631 con i livelli massimi ammissibili delle vibrazioni sulle persone;
- contenere i livelli vibrazionali generati dai macchinari agendo sulle modalità di utilizzo dei medesimi e sulla loro tipologia;
- definire le misure di dettaglio di riduzione delle vibrazioni basandosi sulle caratteristiche dei macchinari effettivamente impiegati;
- posizionare impianti fissi lontano dai ricettori, in particolare se presenti di sensibili;
- mantenere la buona cura delle aree di cantiere, come conservare in buono stato le strade di cantiere ed eliminare avvallamenti o buche.
- per i ricettori sensibili eventualmente interessati, dove presumibilmente le attività legate alle lavorazioni più impattanti saranno incompatibili con la fruizione del ricettore, dovranno essere attuate procedure operative che consentano di evitare lavorazioni impattanti negli orari e nei tempi di utilizzo dei ricettori e nel periodo di riposo degli occupanti.
- nei casi in cui non sia possibile mantenere entro i limiti i livelli vibrazionali, pur avendo messo in atto tutte le pratiche al fine di ridurle e solo per attività temporanee, si ricorrerà alla stesura del “Piano di Gestione dell’Impatto Vibrazionale di Cantiere” di dettaglio. Il piano potrà prevedere una sorveglianza attiva dell’immissione delle vibrazioni al fine di valutare l’efficacia delle misure di mitigazione del cantiere ed eventualmente intervenire sul ciclo di lavoro.



Inoltre, potrà essere prevista una adeguata campagna di informazione ai ricettori che saranno interessati da livelli vibrazionali eccedenti i limiti indicati dalla UNI 9614 al fine di informarli sul possibile disturbo.
