

INDICE

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO	3
2.1	Rumore	3
2.2	Vibrazioni.....	8
2.2.1	Norma UNI 9614 Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo.....	8
2.2.2	Norma UNI 9916 - Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.....	10
2.2.3	Norma UNI11048 - Vibrazioni meccaniche ed urti - Metodo di misura delle vibrazioni negli edifici al fine della valutazione del disturbo.....	10
2.2.4	Verifica rispetto ai valori di normativa.....	10
3	INQUADRAMENTO DELL'AREA	13
3.1	Inquadramento territoriale.....	13
3.1.1	Ubicazione strade oggetto di intervento.....	13
3.2	Inquadramento acustico.....	15
4	DESCRIZIONE PROGETTO	17
4.1	Descrizione cantieri	19
4.2	Lavorazioni previste	20
5	METODOLOGIA DI CALCOLO E DATI INPUT MODELLI NUMERICI	22
5.1	Rumore	22
5.1.1	Generalità.....	22
5.1.2	Modelli di calcolo adottati	23
5.1.3	Macchine di cantiere	23
5.2	Aree di Indagine rumore.....	28
5.3	Vibrazioni.....	28
5.3.1	Generalità.....	28
5.3.2	Metodologia per la valutazione dei livelli vibrazionali indotti da cantiere e mezzi pesanti.....	28
5.3.3	Definizione del tipo di sorgente	33
5.3.4	Sorgenti superficiali	35
5.3.5	Sintesi delle ipotesi	36
6	VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI.....	38
6.1	Rumore	38
6.2	Vibrazioni.....	40
6.2.1	Stima dei futuri livelli vibrazionali derivanti dal cantiere.....	40
6.2.2	Stima dei ricettori impattati.....	41
6.2.3	Rappresentazione dei risultati delle simulazioni	42
7	CONCLUSIONI	44
7.1	Rumore	44
7.2	Vibrazioni.....	44

1 PREMESSA

La presente relazione si pone quale obiettivo la Valutazione Previsionale di Impatto Acustico così come prescritto dalla Legge 26 ottobre 1995, n. 447 “Legge quadro sull’inquinamento acustico”, art. 8, comma 4, e lo studio delle problematiche vibrazionali delle aree di cantiere per la realizzazione delle opere relative alla riqualificazione urbanistica ed ambientale di Via Galileo Ferraris, Via Brecce a S. Erasmo, Via Emanuele Gianturco, Via Nuova delle Brecce, quale parte di ben più ampio progetto denominato “Riqualificazione urbana dell’area portuale di Napoli est”, che ricomprende la riqualificazione e l’adeguamento di numerosi assi e svicoli viari, la rifunzionalizzazione del sistema fognario San Giovanni/Volla, la realizzazione di sistemi di videosorveglianze della caserma dei VVF, oltre una serie di sistemazioni a verde e di arredo urbano diffusi sulla rete stradale nel Comune di Napoli.

In particolare nella valutazione degli impatti derivanti saranno presi in esame i centri abitati, gli edifici isolati e gli eventuali ricettori sensibili presenti al confine dell’area di lavoro (cantieri in linea e aree di stoccaggio).

Lo studio ha lo scopo di:

- verificare il rispetto dei limiti di legge fissati dalla legislazione nazionale (rumore) e dalle norme UNI (vibrazioni) durante la realizzazione opere (cantieri in linea, stoccaggio e realizzazione stazioni di sollevamento)
- identificare eventuali sorgenti di rumore e/o vibrazione che necessitino di interventi di riduzione delle emissioni.

L’impatto vibrazionale derivante dalla macchine operatrici sarà effettuato tramite calcolo teorico mentre l’impatto acustico dei cantieri è stato condotto tenendo conto di quanto indicato nella norma ISO 9613-2[2], indicando per ciascun passaggio i metodi e le formule adottate, e per mezzo del software previsionale IMMI 5.1.5a.

2 INQUADRAMENTO NORMATIVO

2.1 Rumore

La **Legge n°447 del 26 ottobre 1995** (Legge Quadro sull'Inquinamento Acustico) fissa i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente dall'inquinamento acustico, ai sensi e per gli effetti dell'articolo 117 della Costituzione, in particolare stabilisce:

- le competenze dello Stato, delle Regioni, delle Provincie e dei Comuni;
- le modalità di redazione dei piani di risanamento acustico;
- i soggetti che devono produrre le valutazioni di impatto acustico e le valutazioni previsionali di clima acustico;
- le sanzioni amministrative in caso di violazione dei regolamenti di esecuzione;
- gli enti incaricati del controllo e della vigilanza per l'attuazione della legge.

La Legge n°447 del 26 ottobre 1995 è stata attuata dal **DPCM del 14 novembre 1997** che stabilisce i seguenti limiti:

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 dB(A)	35 dB(A)
II - aree prevalentemente residenziali	50 dB(A)	40 dB(A)
III - aree di tipo misto	55 dB(A)	45 dB(A)
IV - aree di intensa attività umana	60 dB(A)	50 dB(A)
V - aree prevalentemente industriali	65 dB(A)	55 dB(A)
VI - aree esclusivamente industriali	65 dB(A)	65 dB(A)

Tabella 1- Valori limite assoluti di emissione - L_{eq} in dB(A) (Art. 2 del DPCM 14/11/97)

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 dB(A)	40 dB(A)
II - aree prevalentemente residenziali	55 dB(A)	45 dB(A)
III - aree di tipo misto	60 dB(A)	50 dB(A)
IV - aree di intensa attività umana	65 dB(A)	55 dB(A)
V - aree prevalentemente industriali	70 dB(A)	60 dB(A)
VI - aree esclusivamente industriali	70 dB(A)	70 dB(A)

Tabella 2- - Valori limite assoluti di immissione - L_{eq} in dB(A) (Art. 3 del DPCM 14/11/97)

CLASSI DI DESTINAZIONE D'USO DEL TERRITORIO	TEMPI DI RIFERIMENTO	
	DIURNO (06:00 – 22:00)	NOTTURNO (22:00 – 06:00)
I - aree particolarmente protette	47 dB(A)	37 dB(A)
II - aree prevalentemente residenziali	52 dB(A)	42 dB(A)
III - aree di tipo misto	57 dB(A)	47 dB(A)
IV - aree ad intensa attività umana	62 dB(A)	52 dB(A)
V - aree prevalentemente industriali	67 dB(A)	57 dB(A)
VI - aree esclusivamente industriali	70 dB(A)	70 dB(A)

Tabella 3- Valori di qualità - L_{eq} in dB(A) (Art. 7 del DPCM del 14/11/97)

Il DPCM del 14 novembre 1997 prevede inoltre che, in attesa che i Comuni provvedano all'approvazione del PCCA (Piano Comunale Classificazione Acustica) previsto dalla Legge n°447 del 26 ottobre 1995, si applichino i limiti previsti dalla tabella dei valori transitori del DPCM del 1° Marzo 1991 (Art. 6).

CLASSI DI DESTINAZIONE D'USO DEL TERRITORIO	TEMPI DI RIFERIMENTO	
	DIURNO (06:00 – 22:00)	NOTTURNO (22:00 – 06:00)
Tutto il territorio nazionale	70 dB(A)	60 dB(A)
Zona A (d.m. n.1444/68)	65 dB(A)	55 dB(A)
Zona B (d.m. n.1444/68)	60 dB(A)	50 dB(A)
Zona esclusivamente industriale	70 dB(A)	70 dB(A)

Tabella 4 - Valori provvisori - Leq in dB(A)

Il **Decreto del Presidente della Repubblica n°142 del 30 marzo 2004** "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare, a norma dell'articolo 11 della Legge n°447 del 26 ottobre 1995" prevede che, in corrispondenza delle infrastrutture viarie, siano fissate delle "fasce di pertinenza acustica", per ciascun lato della strada, misurate a partire del confine stradale, all'interno delle quali sono stabiliti i limiti di immissione del rumore prodotto dalla infrastruttura stessa.

Le dimensioni ed i limiti di immissione variano a seconda che si tratti di strade nuove o esistenti, in funzione della tipologia di infrastruttura e del tipo di ricettore presente all'interno della fascia, secondo le tabelle riportate nel decreto.

All'interno di tale fasce, le attività produttive sono obbligate a rispettare i limiti fissati dal DPCM del 14 novembre 1997 mentre per la rumorosità prodotta dal traffico stradale i limiti sono quelli fissati dal decreto.

TIPO DI STRADA (codice della strada)	SOTTOTIPI A FINI ACUSTICI (secondo Norme CNR 1980 e direttive PUT)	Ampiezza fascia di pertinenza acustica (m)	Scuole*, ospedali, case di cura e di riposo		Altri Ricettori	
			Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)	Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)
A - autostrada		100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
B - extraurbana principale		100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
C - extraurbana secondaria	Ca (strade a carreggiate separate e tipo IV CNR 1980)	100 (fascia A)	50	40	70	60
		150 (fascia B)			65	55
	Cb (tutte le altre strade extraurbane secondarie)	100 (fascia A)	50	40	70	60
		50 (fascia B)			65	55
D - urbana di scorrimento	Da (strade a carreggiate separate e interquartiere)	100	50	40	70	60
	Db (tutte le altre strade urbane di scorrimento)	100	50	40	65	55
E - urbana di quartiere		30	definiti dai Comuni, nel rispetto dei valori riportati in tabella C allegata al D.P.C.M. in data 14 novembre 1997 e comunque in modo conforme alla zonizzazione acustica delle aree urbane, come prevista dall'art. 6, comma 1, lettera a), della legge n. 447 del 1995			

* per le scuole vale il solo limite diurno

Tabella 5- Valori limite di immissione – Strade esistenti ed assimilabili

Per quanto concerne le strutture ferroviarie si deve fare riferimento al **Decreto del Presidente della Repubblica del 18 novembre 1998 n.459** “Regolamento recante norme di esecuzione dell’art.11 della Legge 26 ottobre 1995 n. 447, in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario”.

Tale decreto prevede che in corrispondenza delle infrastrutture ferroviarie siano previste delle “fasce di pertinenza acustica”, per ciascun lato della ferrovia, misurate a partire della mezzzeria dei binari più esterni, all’interno delle quali sono stabiliti dei limiti di immissione del rumore prodotto dalla infrastruttura stessa.

Le dimensioni delle fasce ed i limiti di immissione variano a seconda che si tratti di tratti ferroviari di nuova costruzione oppure esistenti, e in funzione della tipologia di infrastruttura, distinguendo tra linea dedicata all’alta velocità e linea per il traffico normale.

Le fasce territoriali di pertinenza delle infrastrutture sono definite nella tabella sottostante:

TIPO DI INFRASTRUTTURA	VELOCITA' DI PROGETTO Km/h	FASCIA DI PERTINENZA ZA	Scuole*, ospedali, case di cura e di riposo		Altri Ricettori	
			Diurno dB(A)	Notturmo dB(A)	Diurno dB(A)	Notturmo 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 la fascia di pertinenza

Tabella 6 - Valori limite di immissione – Linee ferroviarie esistenti ed assimilabili

Le norme tecniche per le modalità di rilevamento del rumore sono fissate dal **Decreto Ambiente 16 marzo 1998** “Tecniche di rilevamento e di misurazione dell’ inquinamento acustico”.

Infine la **Giunta Regionale (Regione Campania) con Deliberazione N. 1537** “Aggiornamento disposizioni adottate con delibera di Giunta Regionale N. 4431 del

18/8/2000” i definisce i criteri per la redazione della documentazione di impatto acustico e della documentazione previsionale del clima acustico che i comuni, devono richiedere ai soggetti pubblici e privati interessati alla realizzazione delle tipologie di insediamenti indicati all'Art. 8 comma 2 e 3 della Legge 447/95.

2.2 Vibrazioni

Il criterio di valutazione della tollerabilità delle vibrazioni prodotte sugli edifici ha come riferimento alcune normative internazionali e nazionali.

2.2.1 Norma UNI 9614 Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo.

Viene definito il metodo di misura delle vibrazioni di livello costante immesse negli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi. Non costituisce una guida per la valutazione delle vibrazioni considerate come possibile causa di danni strutturali o architettonici agli edifici. Non costituisce inoltre una guida per la valutazione delle vibrazioni che, a bordo di veicoli, navi, aerei e all' interno di installazioni industriali, possono pregiudicare il comfort, l' efficienza lavorativa, la salute-sicurezza dei soggetti esposti; tali vibrazioni, i cui limiti sono strettamente dipendenti dalla durata dell' esposizione, sono anch' esse oggetto di norme specifiche. In appendice sono riportate alcune considerazioni sulla valutazione del disturbo.

Le norme tecniche di riferimento sono le DIN 4150 (tedesca) e la UNI 9614 che definiscono

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

Le vibrazioni immesse in un edificio si considerano:

- *di livello costante*: quando il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza rilevato mediante costante di tempo "slow" (1 s) varia nel tempo in un intervallo di ampiezza inferiore a 5 dB;

- *di livello non costante*: quando il livello suddetto varia in un intervallo di ampiezza superiore a impulsivo: quando sono originate da eventi di breve durata costituiti da un rapido innalzamento del livello di accelerazione sino ad un valore massimo seguito da un decadimento che può comportare o meno, a seconda dello smorzamento della struttura, una serie di oscillazioni che tendono ad estinguersi nel tempo.

La direzione lungo la quale si propagano le vibrazioni sono riferite alla postura assunta dal soggetto esposto. Gli assi vengono così definiti : asse z passante per il coccige e la testa, asse x passante per la schiena ed il petto, asse y passante per le due spalle.

Per la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni di livello costante, i valori delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, corrispondenti ai più elevati riscontrati sui tre assi, possono essere confrontati con i limiti riportati nelle tabelle 1 e 2; tali limiti sono espressi mediante l'accelerazione complessiva ponderata in frequenza $a(w)$ e del suo corrispondente livello $L(w)$. Quando i valori dei livelli delle vibrazioni in esame superano i limiti, le vibrazioni possono essere considerate oggettivamente disturbanti per il soggetto esposto. Il giudizio sull'accettabilità (tollerabilità) del disturbo oggettivamente riscontrata dovrà ovviamente tenere conto di fattori quali la frequenza con cui si verifica il fenomeno vibratorio, la sua durata, ecc..

	a (m/s²)	L_{a,w} (dB)
aree critiche	5.0 10 ⁻³	74
abitazioni (notte)	7.0 10 ⁻³	77
abitazioni (giorno)	10.0 10 ⁻³	80
uffici	20.0 10 ⁻³	86
fabbriche	40.0 10 ⁻³	92

Tabella 7- Valori e livelli limite delle accelerazioni ponderate in frequenza validi per l'asse z

	a (m/s²)	L_{a,w} (dB)
aree critiche	3.6 10 ⁻³	71
abitazioni (notte)	5.0 10 ⁻³	74
abitazioni (giorno)	7.2 10 ⁻³	77
uffici	14.4 10 ⁻³	83
fabbriche	28.8 10 ⁻³	89

Tabella 8- Valori e livelli limite delle accelerazioni ponderate in frequenza validi per l'asse x e y

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

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 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. Per semplicità, la presente norma considera gamme di frequenza variabili da 0,1 a 150 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (vento, terremoti, ecc.), nonché ad eccitazione causata dall' uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l' intervallo di frequenza delle vibrazioni può essere più ampio (per esempio vibrazioni indotte da macchinari all' interno degli edifici): tuttavia eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell' edificio. Gli urti direttamente applicati alla struttura attraverso macchine industriali, gli urti prodotti dalle esplosioni, dalla battitura dei pali e da altre sorgenti immediatamente a ridosso dei ristretti limiti della struttura non sono inclusi nella gamma di frequenza indicata, ma lo sono i loro effetti sulla struttura

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

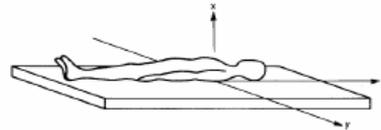
La norma, sperimentale, definisce i metodi di misurazione delle vibrazioni e degli urti trasmessi agli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi, al fine di valutare il disturbo arrecato ai soggetti esposti. Essa affianca la UNI 9614. La norma non si applica alla valutazione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

Nella presente norma è riportata la curva di ponderazione W_m impiegata per la pesatura. Le caratteristiche del filtro combinato W_m sono riportate in Tabella 4. Si osserva che le caratteristiche del filtro W_m non differiscono in modo sostanziale da quelle del filtro per postura non nota o variabile definito dalla UNI 9614.

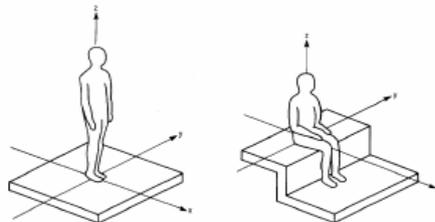
2.2.4 Verifica rispetto ai valori di normativa

Nel riferirsi ai valori limite fissati dalla normativa, si prenderà unicamente in esame il problema della percezione umana delle vibrazioni, individuati dalla norma UNI 9614.

In tal senso si rammenta come la sensibilità umana sia variabile con la frequenza, e dipenda dall'asse cartesiano considerato rispetto al riferimento relativo al corpo umano. Le curve di sensibilità umana sono quindi codificate dalla norma tecnica UNI 9614, rispetto ai sistemi di riferimento per persone sdraiate.



Sistema cartesiano di riferimento per persona coricata



Sistema cartesiano di riferimento per persona in piedi o seduta

La successiva figura mostra l'andamento spettrale delle curve di ponderazione da applicare al segnale di accelerazione rilevato, onde rendere equivalente la percezione umana alle varie frequenze.

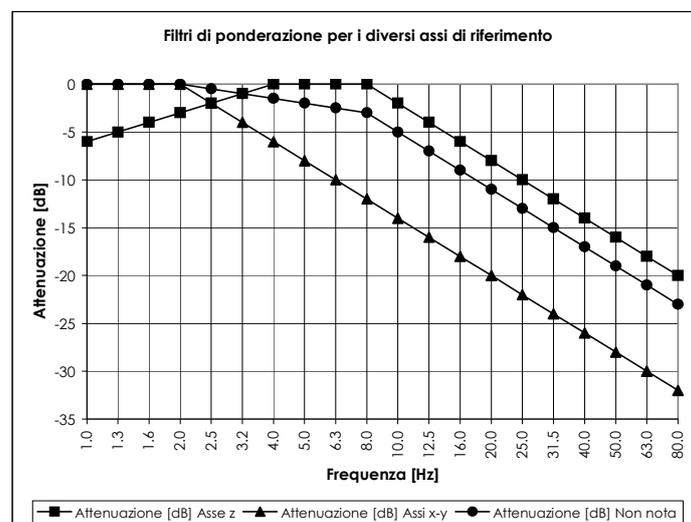


Tabella 9- Curva di ponderazione assi X, Y, Z e postura non nota

Per quanto concerne i valori di riferimento, la norma UNI9614 definisce limiti di accettabilità diversi per fabbriche, uffici ed edifici residenziali. In particolare, i valori e i livelli limite delle accelerazioni ponderate in frequenza secondo assi generici sono: 83 dB per gli uffici e 89 dB per le fabbriche. La norma UNI9614 definisce infine il valore numerico del limite di accettabilità per edifici residenziali, corrispondente ad un valore del livello di accelerazione complessiva, ponderata secondo asse generico, pari a 74 dB per il periodo notturno. La norma

stabilisce inoltre che, per edifici residenziali, nel periodo diurno sono ammissibili livelli di vibrazioni inferiori e pari a 77 dB.

f(Hz)	Curva ponderazione W _m (dB)		
0,8	1,59	1,59	1,59
1,0	0,85	0,85	0,85
1,6	0,59	0,59	0,59
2,0	0,61	0,61	0,61
2,5	0,82	0,82	0,82
3,2	1,19	1,19	1,19
4,0	1,74	1,74	1,74
5,0	2,50	2,50	2,50
6,3	3,49	3,49	3,49
8,0	4,70	4,70	4,70
10,0	6,12	6,12	6,12
12,5	7,71	7,71	7,71
16,0	9,44	9,44	9,44
20,0	11,25	11,25	11,25
25,0	13,14	13,14	13,14
31,5	15,09	15,09	15,09
40,0	17,10	17,10	17,10
50,0	19,23	19,23	19,23
63,0	21,58	21,58	21,58
80,0	24,38	24,38	24,38

Tabella 10 – Curva di ponderazione W_m (filtro per postura non nota o variabile definito dalla UNI 9614)

3 INQUADRAMENTO DELL'AREA

3.1 Inquadramento territoriale

La zona orientale è un'area vasta caratterizzata dall'essere una porzione significativa e organica del

sistema territoriale e urbano della città metropolitana, con i centri storici minori di Poggioreale, Ponticelli, Barra e San Giovanni a Teduccio.

Le strade interessate dal progetto che si illustra, vale a dire via Galileo Ferraris, via Brezze a Sant'Erasmo, via Emanuele Gianturco e via Nuova delle brezze, sono attualmente caratterizzate da bassi standard qualitativi, sia per quanto riguarda le sedi carrabili che per i marciapiedi.

3.1.1 Ubicazione strade oggetto di intervento

Complessivamente, le infrastrutture stradali per le quali si prevede la riqualificazione hanno una lunghezza di circa 3,8 chilometri.

Di seguito si descrivono le strade oggetto di intervento:

- **Via Galileo Ferraris.** Si tratta di una strada ad andamento ovest-est, di collegamento tra corso Arnaldo Lucci, a ovest, e via Ferrante Imparato e via delle Repubbliche marinare, a est, connessione con i Comuni dell'area orientale e con le arterie autostradali. Il tratto compreso tra corso Arnaldo Lucci e via Benedetto Brin è oggetto di un intervento di manutenzione e riqualificazione ancora in corso. Il progetto che si illustra, pertanto, riguarda esclusivamente il tratto compreso tra via Benedetto Brin, a ovest, e via Ferrante Imparato e via delle Repubbliche marinare, a est. Tale tratto ha una lunghezza complessiva di circa 1.450 metri ed è suddivisibile, schematicamente, in tre segmenti con caratteristiche omogenee:
 - il primo segmento compreso tra via Benedetto Brin e via Emanuele Gianturco;
 - il secondo segmento compreso tra via Emanuele Gianturco e il rilevato ferroviario Fs;
 - il terzo segmento compreso tra il rilevato ferroviario Fs e via Ferrante Imparato-via delle Repubbliche marinare.

- **Via Breccie a Sant'Erasmus.** e' una strada di collegamento tra via Galileo Ferraris, a nord, e l'asse costiero, a sud, alternativa al tracciato di via Emanuele Gianturco, anch'esso intercettato dalla strada di cui si tratta. Il primo tratto della strada compreso tra via Galileo Ferraris e via Emanuele Gianturco, è caratterizzato dalla presenza di aree e capannoni industriali, in parte dismessi ed in particolare, sul tratto orientale, dagli impianti produttivi Feltrinelli, oggetto di piano di riassetto urbanistico, approvato dalla P.A. Il tratto in questione ha una lunghezza complessiva di circa 1.450 metri ed è suddivisibile, schematicamente, in due segmenti con diverse caratteristiche dimensionali: il primo compreso tra via Galileo Ferraris e il ponte della ferrovia Circumvesuviana; il secondo compreso tra via il ponte e via Emanuele Gianturco. Il secondo tratto di via Breccie a Sant'Erasmus, compreso tra via Emanuele Gianturco e l'asse costiero ha, invece, un carattere prettamente urbano, con la presenza, su entrambi i fronti, di cortine edilizie continue, in cui si alternano preesistenze storiche e complessi residenziali di epoche diverse. Lo slargo comunemente denominato piazza Sant'Erasmus, la parte terminale in cui le strade si innesta sull'asse costiero, presenta un impianto pressochè triangolare delimitato da fronti edilizi omogenei, derivanti dagli interventi dell'Istituto autonomo per le case popolari con la realizzazione di una serie di fabbricati di edilizia residenziale pubblica.
- **Via Emanuele Gianturco.** La strada collega l'asse costiero con l'area del centro direzionale e, attraverso gli svincoli della strada statale n. 162, con il sistema autostradale urbano.
- **Via Nuova delle breccie.** E' una strada cieca ad andamento ovest-est, accessibile da via Ferrante Imparato e, attraverso via delle Industrie, da via Argine. Con via Nuova delle breccie ci si allontana ulteriormente dal centro urbano consolidato e si giunge in piena area industriale, con un conseguente peggioramento del rapporto frontestrada che attraversa per intero l'area degli impianti petroliferi ed è fortemente caratterizzata dalla presenza dei fasci tubieri lungo il margine nord e, lungo il margine sud, dei raccordi ferroviari con il porto.



Figura 1- Ubicazione delle strade oggetto di intervento

3.2 Inquadramento acustico

Il Comune di Napoli ha approvato il Piano di Zonizzazione Acustica come previsto dalla Legge n°447 del 26 ottobre 1995 con delibera del Consiglio comunale n° 204 del 21 dicembre 2001. Dalla lettura dello stralcio della cartografia allegata al piano, le aree in cui è prevista l'ubicazione dei cantieri è posta in Classe V (Aree prevalentemente industriali)

Nella tabella che segue si riepilogano i limiti fissati dal PCCA secondo quanto previsto dal DPCM 14/11/97.

Classe	Limiti immissione		Limiti emissione	
	65 dB(A)	55 dB(A)	60 dB(A)	50 dB(A)
IV	65 dB(A)	55 dB(A)	60 dB(A)	50 dB(A)

Tabella 11 – Limiti immissione ed emissione fissati dal DPCM 14/11/97

Nello stralcio di piano si riportano sia il PCCA del Comune di Napoli.

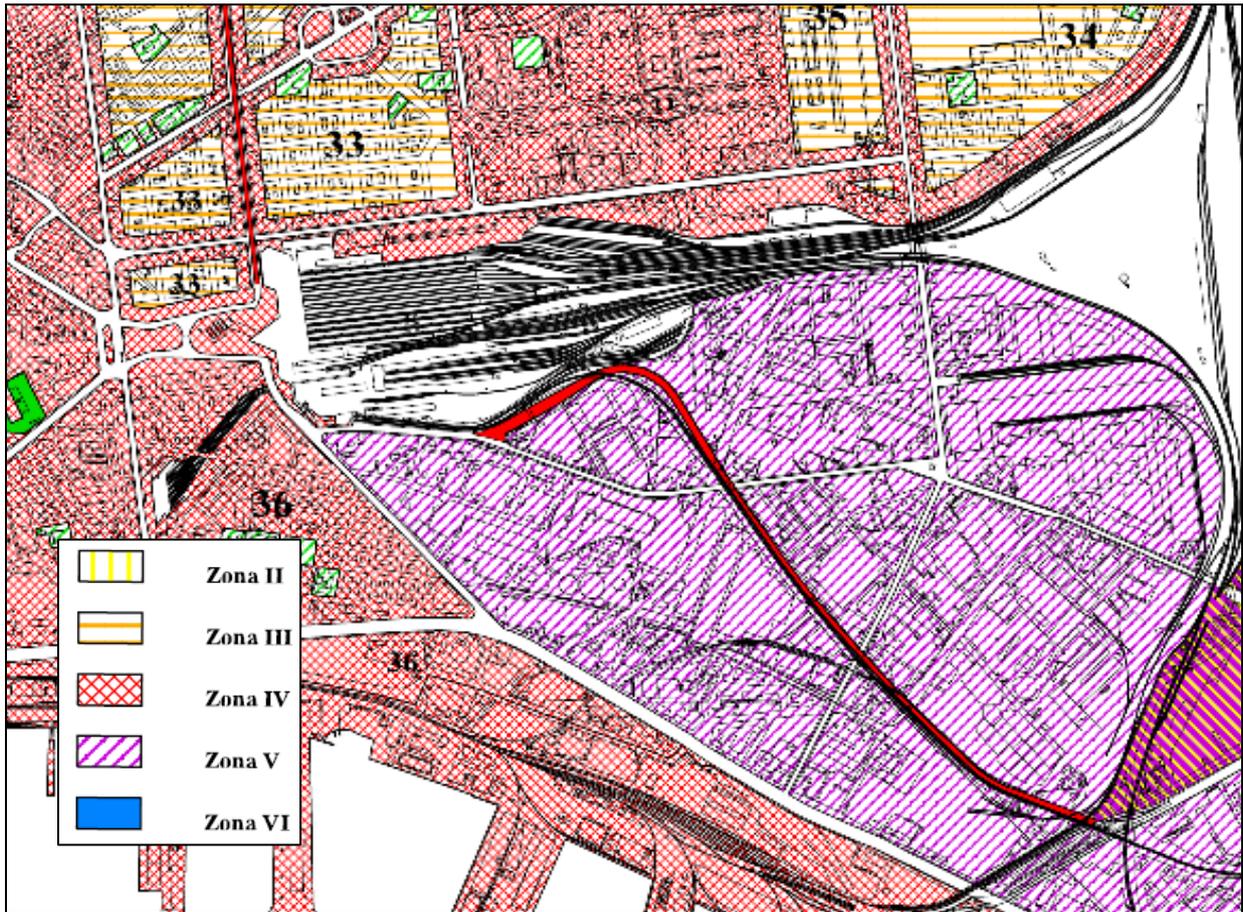


Figura 2– Stralcio del Piano di Classificazione Acustica del Comune di Napoli

4 DESCRIZIONE PROGETTO

Gli interventi di riqualificazione proposti non si limitano alla riconfigurazione e alla riorganizzazione delle varie componenti delle strade, vale a dire sedi carrabili, aree di sosta e spazi ciclo-pedonali, ma includono la rifunzionalizzazione del sottostante sistema fognario e dell'impianto di pubblica illuminazione.

Come già anticipato, tali interventi vanno inquadrati in un più ampio progetto, denominato Riqualificazione urbana dell'area portuale di Napoli est, che, oltre alla riqualificazione delle strade sopra menzionate, prevede:

- la riqualificazione di ulteriori strade dell'area orientale (via Ferrante Imparato/via Traccia a Poggioreale, via Domenico De Roberto, via Nicola Miraglia, via Benedetto Brin, via Carlo di Tocco e asse costiero);
- l'adeguamento degli svincoli della strada statale n. 162 su via Domenico De Roberto;
- la realizzazione di tre sottopassi viari, uno dei quali utilizza le strutture esistenti del ponte della Bettina, parzialmente impiegate per il passaggio dei treni della Circumvesuviana e della linea metropolitana 1;
- il completamento del nodo d'interscambio Brin; - una serie di sistemazioni a verde e di interventi di arredo urbano diffusi sulla rete stradale; - la rifunzionalizzazione del sistema fognario San Giovanni/Volla;
- la realizzazione di sistemi di videosorveglianza e l'adeguamento della caserma dei Vigili del fuoco situata in prossimità dell'emiciclo di Poggioreale, al fine di aumentare i livelli di sicurezza.

Nella seguente immagine si riportano i caratteri principali di tale progetto.

4.1 Descrizione cantieri

I cantieri saranno composti da:

- un centro operativo fisso collocato in posizione baricentrica rispetto all'intera area d'intervento;
- quattro micro cantieri, uno per ogni strada oggetto dell'appalto.

Il centro operativo fisso sarà collocato in una delle aree libere o inutilizzate presenti lungo le arterie di progetto. Lo stesso sarà composto da due macroaree distinte:

- un'area logistica dedicata alla gestione e alla manodopera con gli uffici di cantiere (appaltatore, direzione lavori, eventuale subappaltatori, ecc.), la sala riunioni, l'infermeria, la guardiana, gli spogliatoi, i servizi, la mensa e l'area parcheggio del personale;
- un'area di servizio dedicata al deposito dei materiali (magazzini e depositi), allo stoccaggio dei materiali di risulta (da caratterizzare e non), alle postazioni di lavoro fisse (preparazione semilavorati, malte, impasto, ecc), e alle aree di parcheggio dei mezzi d'opera.

Le aree individuate per questo scopo risultano tutte già recintate e quindi schermate rispetto all'esterno.

Primaria importanza rivestirà il collegamento del cantiere fisso alla viabilità esterna, che sarà realizzato in modo da determinare il minimo disturbo della circolazione e la massima sicurezza del traffico. Apposite segnalazioni indicheranno, sulla viabilità ordinaria, gli accessi del cantiere e le zone in cui sussistono eventuali situazioni di pericolo per l'uscita di automezzi.

Sarà inoltre istituito un servizio di controllo ai varchi di ingresso al cantiere che oltre ad impedire l'accesso agli estranei al cantiere stesso, verificherà che automezzi in uscita dal cantiere non sporchino con fango o terra la viabilità ordinaria; nel caso ciò si verifichi, gli incaricati dovranno attivarsi per una sollecita pulizia del manto stradale onde evitare pericoli alla circolazione e soprattutto ai motocicli e fastidio ai passanti.

Inoltre, soprattutto per i mezzi pesanti, il transito da e verso il cantiere sarà limitato a determinati orari, in particolare non in orari ufficio, al fine di evitare rallentamenti ed interferenze.

Al fine di minimizzare l'impatto acustico, saranno utilizzati esclusivamente mezzi ed attrezzature conformi alle direttive CE in materia di emissione acustica ambientale.

Ciò nonostante, saranno comunque utilizzati tutti gli accorgimenti tecnici e gestionali per minimizzare l'impatto acustico quali applicazione di silenziatori, utilizzo non contemporaneo dei mezzi e delle attrezzature più rumorosi, schermature delle aree critiche.

Nelle quattro strade di progetto saranno organizzati altrettanti micro cantieri che interesseranno piccoli tratti consecutivi (circa 50 mt).

Gli stessi saranno idoneamente delimitati da recinzioni metalliche per poter eseguire la lavorazione in sicurezza e per l'abbattimento della propagazione dell'onda sonora.

4.2 Lavorazioni previste

Di seguito sono stati tabellati gli scenari lavorativi per fasi ipotizzate per l'opera in linea (A)

Fase	Lavorazione ipotizzata	Macchinari presumibilmente utilizzati
1	Allestimento cantiere	Camion Autogru
2	Preparazione aree di scavo Scarifica superficiale	Fresatrice Sega taglia asfalto Camion Pala gommata
3	Scavo	Escavatore Pala gommata Camion Gruppo elettrogeno wellpoint
4	Posa della condotta	Autogru
5	Tombamento della condotta	Pala Camion
6	Asfalti	Finitrice Camion Rullo compattatore
7	Smoblizzo aree	Camion Autogrù

Tabella 12– Lavorazioni e macchine operatrici per i cantieri in linea

fase	Lavorazione ipotizzata	Macchinari presumibilmente utilizzati
1	Allestimento cantiere	Camion Autogru
2	Preparazione aree di scavo	Camion Pala gommata
3	Opere provvisorie e di sostegno scavo	Macchina diaframmi Jet grouting
4	Scavo	Escavatore Pala gommata Camion Gruppo elettrogeno wellpoint
5	Realizzazione opere di fondazione	Autogru, Autobotti, Camion
7	Finiture	Camion Gruppi elettrogeni
8	Smoblizzo aree	Camion Autogru

Tabella 13 – Lavorazioni e macchine operatrici per realizzazione stazioni sollevamento

5 METODOLOGIA DI CALCOLO E DATI INPUT MODELLI NUMERICI

5.1 Rumore

5.1.1 Generalità

Per valutare il rumore prodotto in fase di cantiere 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. I livelli di rumore sono stati determinati attraverso apposite simulazioni per poter poi essere confrontati con la localizzazione, le caratteristiche dei ricettori e la classificazione acustica comunale.

Nella valutazione dell'impatto acustico generato dal cantiere, al fine di stimare il rumore previsto in prossimità dei ricettori, devono pertanto essere tenuti in considerazione i seguenti elementi:

- la classificazione acustica dell'area, e l'eventuale presenza di ricettori particolarmente sensibili (come scuole e istituti sanitari);
- lo stato attuale dei luoghi, mediante ricognizioni in sito e raccolta di materiale fotografico;
- la durata delle attività di cantiere, secondo quanto previsto dal cronoprogramma dei lavori.

Se generalmente per il calcolo del rumore indotto si prevede la concentrazione delle sorgenti più rilevanti nel baricentro dell'area di lavoro del cantiere ed il calcolo dei livelli di emissione ed immissione sull'intero periodo di riferimento (16 ore per il periodo diurno, 8 ore per il periodo notturno), in questo caso le informazioni a disposizione dagli studi di cantierizzazione sono state utilizzate per operare nel seguente modo:

- sono state individuate le specifiche fasi di lavorazione, e tra esse sono state scelte le più rumorose;
- per ogni lavorazione, sono state acquisiti i dati di potenza acustica delle macchine di cantiere;
- le macchine sono state considerate sempre accese, e posizionate nella posizione più critica per i ricettori;
- è stato valutato l'impatto della mezz'ora di lavorazione più critica, senza effettuare inizialmente alcun calcolo del livello equivalente di pressione sonora sul periodo di riferimento, così da permettere agli organi di controllo la valutazione dell'eventuale rischio sanitario dovuto alle fasi di lavorazione acute;
- è stata valutata le attività di scavo nelle fasi di maggiore vicinanza ai ricettori;

5.1.2 Modelli di calcolo adottati

Lo studio è stato effettuato utilizzando il software specifico IMMI 5.1.5 (che verrà indicato in seguito con IMMI). IMMI è in grado di valutare il rumore emesso da vari tipi di sorgenti utilizzando vari standard selezionabili dall'operatore a seconda della situazione in esame. I risultati sono prodotti sia in forma tabellare, sia in forma grafica. Per l'effettuazione della valutazione IMMI richiede, in ingresso, la definizione delle sorgenti e delle distanze a cui valutare gli impatti.

Per quanto riguarda le sorgenti fisse il software acustico si basa sugli algoritmi di calcolo descritti nella norma ISO 9613-1-2 relativa all'attenuazione del suono durante la propagazione "outdoors"

A partire da questi dati di input, il modello fornisce il livello di emissione acustica che corrisponde al livello acustico mediato sul periodo diurno e sul periodo notturno a varie altezze dal suolo, in condizione di libera propagazione del suono.

Per quanto concerne gli altri parametri introdotti nel modello di calcolo, si precisa che le simulazioni sono effettuate supponendo che il tipo di terreno presente nella zona circostante il cantiere, fino ai recettori, non sia costituito da elementi assorbenti e pertanto, usando la definizione che la norma ISO 9613-2 dà per **il terreno di tipo "riflettente"**, si è impostato il **coefficiente G pari a 0,00**.

Gli altri parametri impostati nel modello di calcolo riguardano:

- la condizione di calcolare almeno una riflessione,
- la condizione di un campo libero davanti alle superfici di almeno 1 mt lineare;
- la condizione di propagazione sottovento;
- l'altezza delle macchine operatrici dal piano di campagna pari a 1 m;
- la predisposizione di una griglia i cui elementi hanno **dimensioni 5x5 mt**.

Al termine dei lavori per una migliore interpretazione della valutazione di impatto saranno forniti in forma sintetica tabellare i dati di input assunti per la simulazione modellistica.

5.1.3 Macchine di cantiere

Al fine di valutare il rumore prodotto dalle attività dei cantieri è necessario, per ognuna delle tipologie di macchinario presente, conoscere i livelli di potenza sonora (L_w). Tali dati possono essere desunti da un'attenta analisi dei dati bibliografici disponibili.

I dati impiegati in questo studio derivano in parte da :

- pubblicazione “Conoscere per prevenire – La valutazione dell’inquinamento acustico prodotto dai cantieri edili” – Comitato Paritetico Territoriale per la prevenzione infortuni, l’igiene e l’ambiente di lavoro di Torino e Provincia;
- dati strumentali pregressi su mezzi, macchine e apparecchiature analoghe.

Le macchine di cantiere sono state quindi considerate come sorgenti puntiformi, a cui è stata assegnata una determinata potenza sonora ed una quota sul piano campagna, che rappresenta la quota di emissione. I percorsi degli autocarri all'interno dell'area di cantiere ed all'esterno della stessa sono state inseriti come sorgenti lineari caratterizzati dal numero di transiti e velocità dei veicoli.

Ciò premesso, va altresì sottolineato che il dato di potenza sonora del mezzo, fa riferimento unicamente al rumore emesso dal suo funzionamento spesso a vuoto e comunque limitato al solo motore. La potenza sonora del mezzo in attività deve tenere conto anche della generazione di suono dovuto all’urto del escavatore, della benna contro il terreno, dal transito su particolari superfici etc. Per queste ragioni, si è fatto riferimento alla potenza sonora del mezzo in attività sul cantiere, che può risultare superiore al semplice dato di macchina ma che permette una valutazione più realistica dei livelli di pressione sonora attesi ai ricettori.

Cantiere in linea

fase	Lavorazione ipotizzata	Potenza acustica (Lw)	Lw Totale
1	Allestimento cantiere		107.0
	Camion (Autocarro)	100.0	
	Autogru	106.0	
2	Preparazione aree di scavo scarifica superficiale		115.4
	Scarificatrice	113.8	
	Camion (Autocarro)	100.0	
	Pala meccanica	110.0	
3	Scavo		111.6
	Escavatore	105.0	
	Pala meccanica	110.0	
	Camion (Autocarro)	100.0	
	Gruppo elettrogeno	95.0	
4	Posa della condotta		106.0
	Autogru	106.0	
5	Tombamento della condotta		110.4
	Pala meccanica	110.0	
	Camion (Autocarro)	100.0	
6	Asfalti		114.8
	Vibrofinitrice	110.1	
	Camion (Autocarro)	100.0	
	Rullo statico e/o dinamico	112.8	
7	Smoblizzo aree		107.0
	Camion (Autocarro)	100.0	
	Autogru	106.0	

Tabella 14 – Potenza acustica lavorazioni cantiere in linea

Stoccaggio

fase	Lavorazione ipotizzata	Potenza acustica (Lw)	Lw Totale
1	Movimentazioni area di stoccaggio		110.8
	Pala meccanica	110.0	
	Camion (Autocarro)	100.0	
	Camion (Autocarro)	100.0	

Tabella 15– Potenza acustica aree di stoccaggio

Realizzazione opere

fase	Lavorazione ipotizzata	Potenza acustica (Lw)	Lw Totale
1	Allestimento cantiere		107.0
	Camion (Autocarro)	100.0	
	Autogru	106.0	
2	Preparazione aree di scavo scarifica superficiale		115.4
	Scarificatrice	113.8	
	Camion (Autocarro)	100.0	
	Pala meccanica	110.0	
3	Scavo		111.6
	Escavatore	105.0	
	Pala meccanica	110.0	
	Camion (Autocarro)	100.0	
	Gruppo elettrogeno	95.0	
4	Posa della condotta		106.0
	Autogru	106.0	
5	Tombamento della condotta		110.4
	Pala meccanica	110.0	
	Camion (Autocarro)	100.0	
6	Asfalti		114.8
	Vibrofinitrice	110.1	
	Camion (Autocarro)	100.0	
	Rullo statico e/o dinamico	112.8	
7	Smoblizzo aree		107.0
	Camion (Autocarro)	100.0	
	Autogru	106.0	

Tabella 16- Potenza acustica lavorazioni cantiere in linea

Le lavorazioni simulate sono le più impattanti per ciascuna tipologia di cantiere. Nelle tabelle sono evidenziate in blu.

5.2 AREE DI INDAGINE RUMORE

5.3 Vibrazioni

5.3.1 Generalità

La caratterizzazione viene effettuata in termini di valore medio efficace (RMS) della velocità (in mm/s) per valutare gli effetti delle vibrazioni sugli edifici, e l'accelerazione (in mm/s²) per valutare la percezione umana. E' tuttavia agevole convertire i valori di velocità v nei corrispondenti valori di accelerazione a , 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 vengono 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 $v_0 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ mm/s}$.

5.3.2 Metodologia per la valutazione dei livelli vibrazionali indotti da cantiere e mezzi pesanti

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 congiuntamente misure sperimentali e simulazioni numeriche. A partire dagli spettri di emissione dei principali macchinari di cantiere sono state eseguite delle simulazioni numeriche volte a definire l'effetto combinato di tali macchinari in corrispondenza di ricettori (persone o edifici) posti nell'intorno del cantiere. La valutazione dei livelli vibrazionali indotti ai ricettori dalle attività di cantiere ha pertanto richiesto la definizione di:

- una serie di scenari di cantiere rappresentativi delle lavorazioni più impattanti dal punto di vista vibrazionale e relativo inventario dei macchinari;
- uno spettro di emissione di ciascun macchinario di cantiere rappresentativo della variazione in frequenza dell'accelerazione indotta nel terreno ad una distanza di riferimento (problema sorgente);

- una funzione di trasferimento che esprima, al variare della frequenza, il rapporto tra l'ampiezza di vibrazione al piede del ricettore in condizioni di campo libero e l'ampiezza dello spettro di accelerazione alla sorgente per ciascun macchinario (problema di propagazione);
- una legge di combinazione degli spettri di accelerazione indotti al ricettore in condizioni di campo libero dai macchinari presenti nei vari scenari di cantiere ipotizzati;
- un'ipotesi sulla presa in conto dell'effetto della struttura degli edifici sul campo vibratorio determinato in condizioni di campo libero e confronto con i limiti di legge.

In dettaglio si illustrano i passi seguiti nell'elaborazione:

1. La valutazione dei livelli vibrazionali è stata quindi condotta a fronte dell'acquisizione degli spettri di emissione dei macchinari di cantiere sopra citati, utilizzando sia dati bibliografici che rilievi strumentali. Gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza di circa 5m dalla sorgente vibratoria, e sono afferenti alla sola componente verticale. Sono espressi in dB senza alcuna applicazione di filtri di attenuazione.

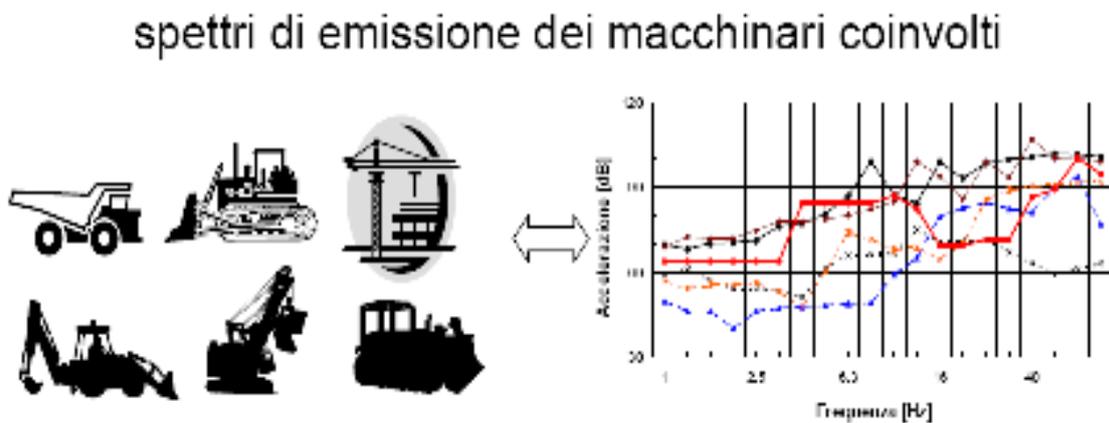


Figura 4 – Spettri emissione macchine di cantiere

2. Dagli spettri delle sorgenti si ottiene il livello di accelerazione non ponderato a distanze 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 :

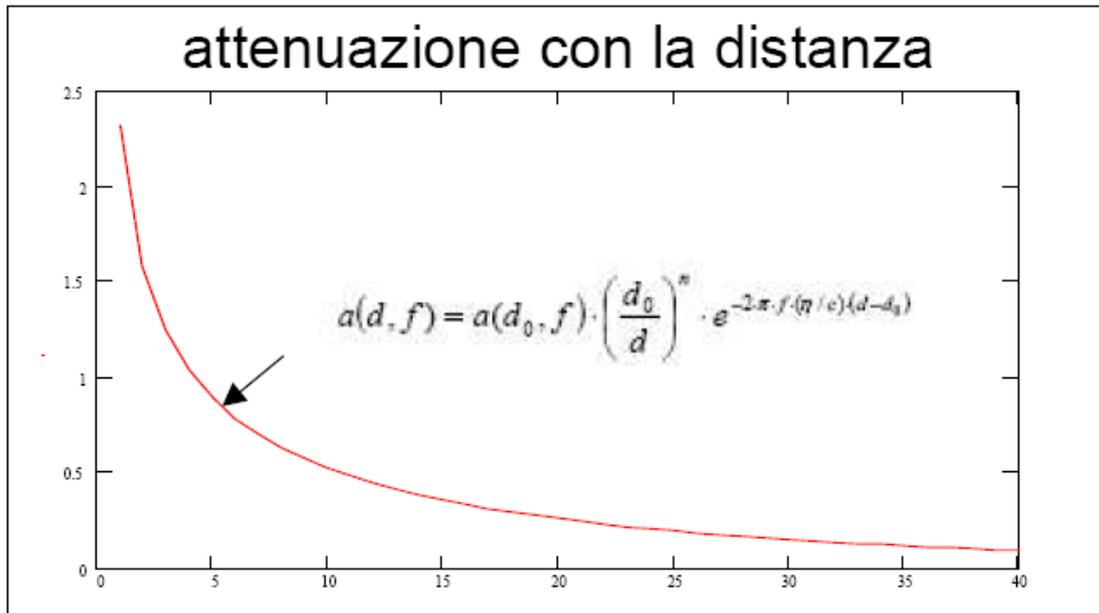


Figura 5 – Curva di attenuazione con la distanza

3. 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 di cantiere. Come legge di combinazione degli spettri 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 (ATOT,f) sotto forma di matrice.

legge di combinazione dei segnali al ricevitore

$$\sqrt{A_1^2(\omega, r) + A_2^2(\omega, r) + \dots + A_N^2(\omega, r)} \quad (\text{SRSS})$$

Figura 6 – Matrice di tutte le macchine attive

4. 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.

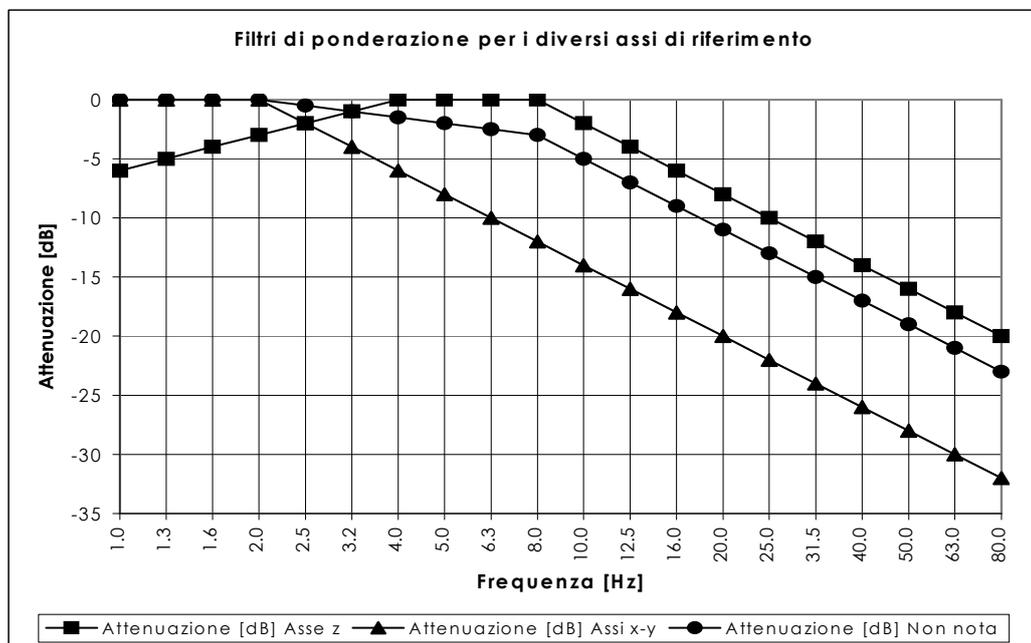


Figura 7 – Filtri di ponderazione

5. 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

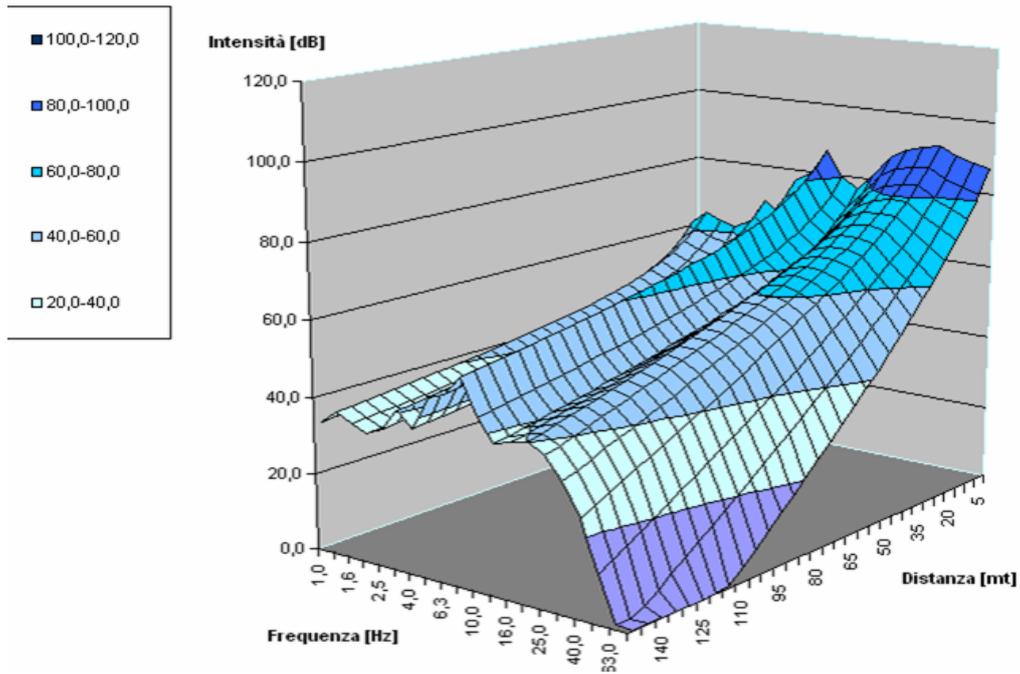


Figura 8 – Grafico di propagazione

6. Il livello totale di accelerazione ponderata in funzione della distanza $L_{a,w,d}$ è stato ottenuto sommando tutti i corrispondente valori per frequenza $A_{TOT,f}$ espresso in dB pesati. Il numero ottenuto è rappresentativo dell'accelerazione complessiva ponderata su asse Z 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 le sorgenti su asse Z.

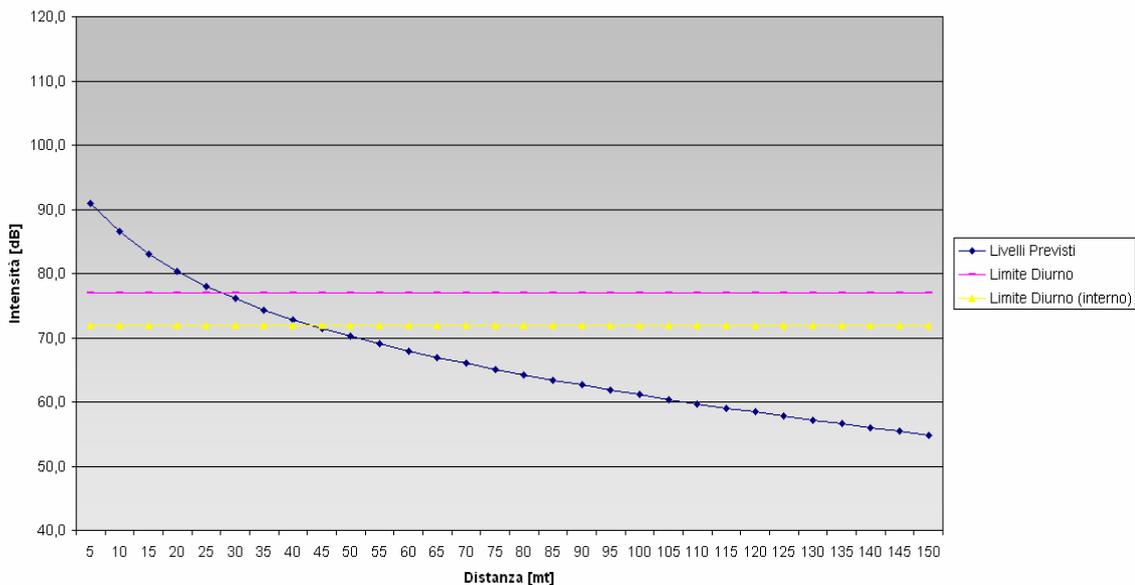


Figura 9 – Profilo di attenuazione dell'accelerazione

7. Ai fini del confronto con i limiti della norma UNI 9614, si stabilisce di prendere in esame il valore massimo fra i tre valori di livello di accelerazione ponderata misurati lungo i tre assi. Poiché nella pressoché totale generalità dei casi, questo porta a considerare la accelerazione misurata in senso verticale, come richiesto dalla UNI 11048, si valuteranno i livelli di accelerazione ponderata “per asse generico” lungo l’asse Z con la tabella dei valori limite originariamente stabilita per gli assi XY.

5.3.3 Definizione del tipo di sorgente

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.

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, ma se le prime hanno una distribuzione spaziale abbastanza prevedibile e delimitata, i secondi si distribuiscono lungo l’intero percorso che collega il fronte di avanzamento lavori ai luoghi di approvvigionamento o di scarica.

Le vibrazioni emesse dai mezzi di trasporto durante il tragitto (non durante le operazioni di cantiere, quali lo scarico o il ribaltamento del cassone) sono le stesse emesse dai normali veicoli stradali, e non meritano quindi particolari attenzioni, in quanto il loro impatto è analogo a quello prodotto dal traffico già esistente sulla rete viaria adiacente, che stante i rilievi ante operam compiuti non generare alcuna criticità.

In relazione **alle attività lavorative di cantiere previste per la realizzazione dell’opera in esame**, sono stati invece individuati scenari di cantiere critici per il potenziale impatto in termini di vibrazioni sull’ambiente circostante.

In riferimento alle opere da realizzarsi si procederà dunque analizzando le attività con riferimento alla realizzazione della palificazione di sostegno agli scavi.

Le attività evidenziate costituiscono fasi potenzialmente critiche dal punto di vista dell’impatto vibrazionale, principalmente a causa:

- della tipologia delle macchine impiegate all’interno del cantiere, comprensive sia di macchine operatrici che di mezzi di trasporto;

- della contemporaneità, all'interno dello stesso scenario di cantiere, di più lavorazioni in posizioni differenti;
- della vicinanza dei cantieri ad aree residenziali.

Gli scenari in esame sono stati definiti avendo come prima finalità quella di fornire risultati sufficientemente cautelativi, intervenendo in particolare sul numero di macchinari contemporaneamente in azione e sugli spazi operativi dei medesimi.

Si sottolinea tuttavia come le situazioni esaminate non possano comunque rappresentare tutti i macchinari potenzialmente presenti in contemporanea all'interno dell'area di cantiere, ma bensì quelli che operando in stretta vicinanza tra loro e con le strutture edilizie esterne, possono determinare il maggiore impatto.

Nella tabella sottostante sono presentate le ipotesi prese a base delle elaborazioni :

Descrizione attività cantiere	Macchinari presenti	Numero totale macchinari
Scavo e movimentazione materiale	Escavatore Pala gommata Camion	3

Tabella 17– Lavorazioni e macchine operatrici per realizzazione scavo

La valutazione dei livelli vibrazionali è stata quindi condotta a fronte dell'acquisizione degli spettri di emissione dei macchinari di cantiere sopra citati, utilizzando sia dati bibliografici che rilievi strumentali. Gli spettri impiegati sono riferiti a misure eseguite ad una distanza di circa 5m dalla sorgente vibratoria, e sono afferenti alla sola componente verticale.

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 (a scopo cautelativo è stata valutata la attività di infissione nonostante non sia una lavorazione prevista). Ciò premesso, per la costruzione delle paratie di pali, in mancanza di misure dirette si è proceduto assimilando lo spettro di emissione, secondo un criterio cautelativo e di omogeneità, a quello del martello idraulico in attività su fondazione profonda.

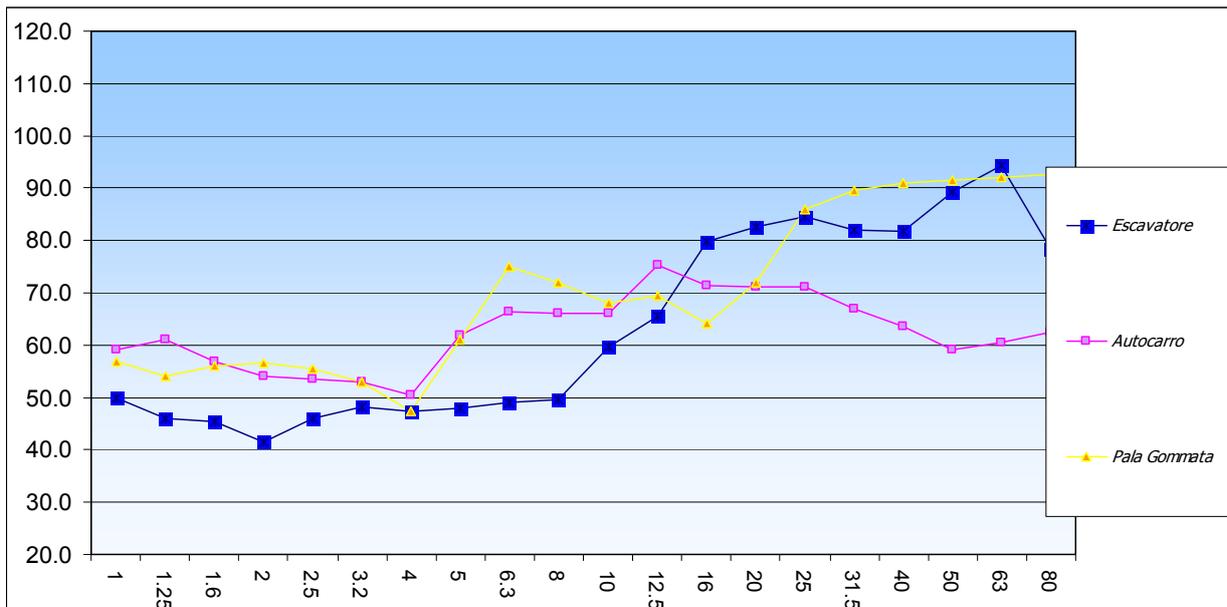


Figura 10 - Spettri di sorgente sperimentali dei macchinari da cantiere impiegati per lo scavo misurati a distanza nota dalla sorgente

5.3.4 Sorgenti superficiali

Rammentando come, parlando della trasmissione di vibrazioni nel terreno, si debba distinguere tra tre tipi principali di onde che trasportano energia vibrazionale [1] (onde di compressione (onda P), onde di taglio (onda S) e Onde di superficie (orizzontali, onde R, e verticali, onde L), si precisa che 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 [5]:

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

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, qui 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 preceduto 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 molto più rapida attenuazione al crescere della distanza dalla sorgente.

Type of source	Wave	Location	n
Line	Surface	Surface	0
	Body	Surface	1.0
Point	Rayleigh	Surface	0.5
	Body	Surface	2.0
Buried Line	Body	Interior	0.5
Buried point	Body	Interior	1.0

La visibile dipendenza del termine esponenziale alla frequenza, rende la propagazione delle alte frequenze sensibilmente inferiore a quella delle basse frequenze. 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.

Class	Description of Material	Attenuation Coefficient, α (m^{-1}) at 5 Hz	ρ
I	Weak or soft soils (soil penetrates easily); loessy soils, dry or partially saturated peat and muck, mud, loose beach sand and dune sand, recently plowed ground, soft spongy forest or jungle floor, organic soils, topsoil	0.003-0.01	2×10^{-1} to 6×10^{-4}
II	Competent soils (can dig with shovel); most sands, sandy clays, silty clays, gravel, silts, weathered rock	0.001-0.003	6×10^{-3} to 2×10^{-4}
III	Hard soils (cannot dig with shovel, must use pick to break up); dense compacted sand, dry consolidated clay, consolidated glacial till, some exposed rock	0.0001-0.001	6×10^{-2} to 6×10^{-3}
IV	Hard, competent rock (difficult to break with hammer); bedrock, freshly exposed hard rock	< 0.0001	$< 6 \times 10^{-5}$

Il modello semplificato di propagazione illustrato tiene in considerazione 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.**

5.3.5 Sintesi delle ipotesi

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

- le macchine da cantiere sono assunte come sorgenti puntuali;

- b. 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;
- c. l'attenuazione geometrica afferente la sorgente puntuale che lavora in superficie (escavatore con pinza, autocarro, pala, autocarro) è stata assunta proporzionale a $(r-1)$, mentre quella che opera in profondità è stata considerata con una legge di attenuazione proporzionale a $r^{-0.5}$.
- d. l'epicentro di emissione, nel caso di sorgenti profonde, si collochi circa ad 1/2 della lunghezza dell'elemento infisso nel terreno;
- e. 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.

6 VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI

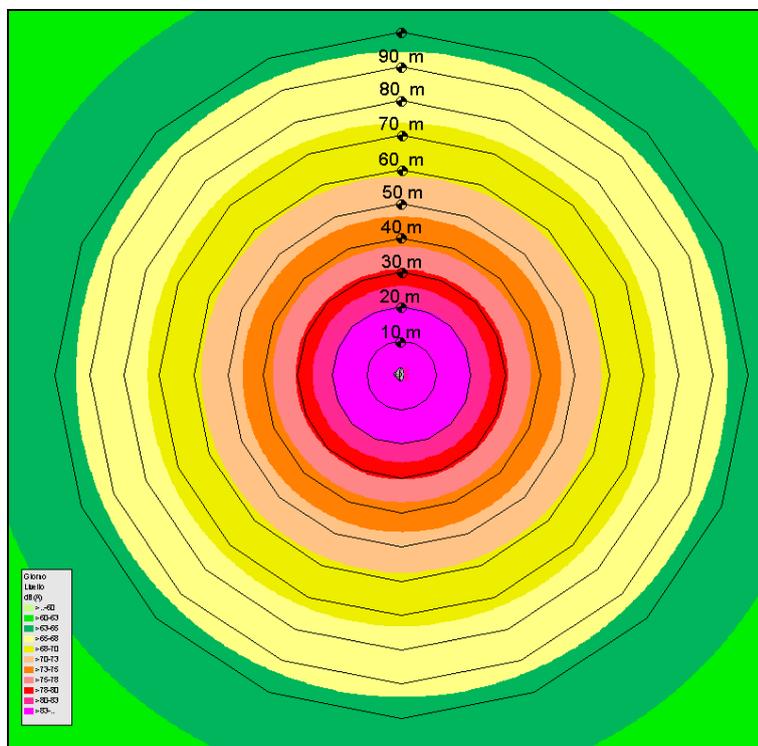
6.1 Rumore

Gli scenari realizzati risultano essere i seguenti:

- lavorazioni in linea (scavo)
- stoccaggio (movimentazione terre)
- realizzazione opere (scarifica)

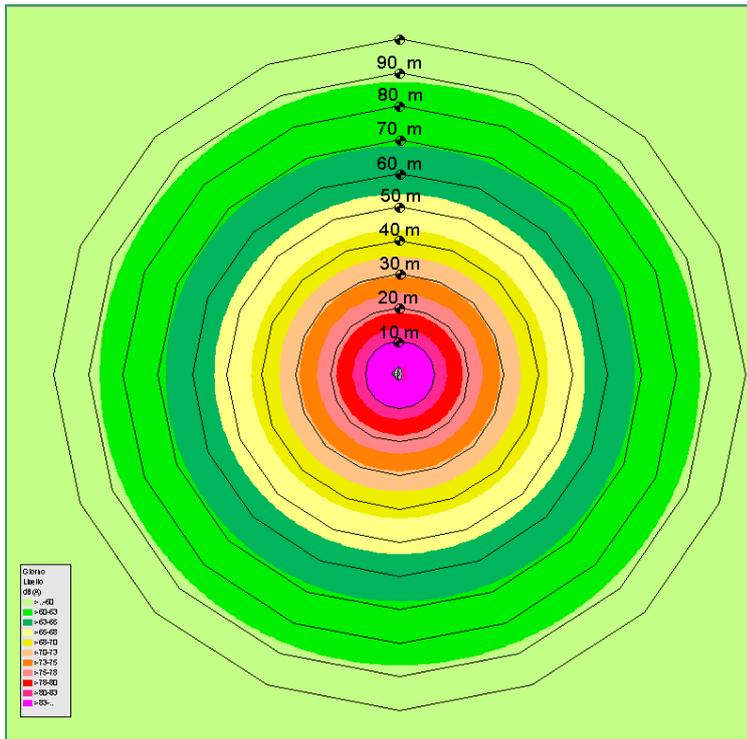
Di seguito si riportano i livelli di rumore calcolati nei diversi scenari alle varie distanze.

Lavorazioni in linea (scavo)



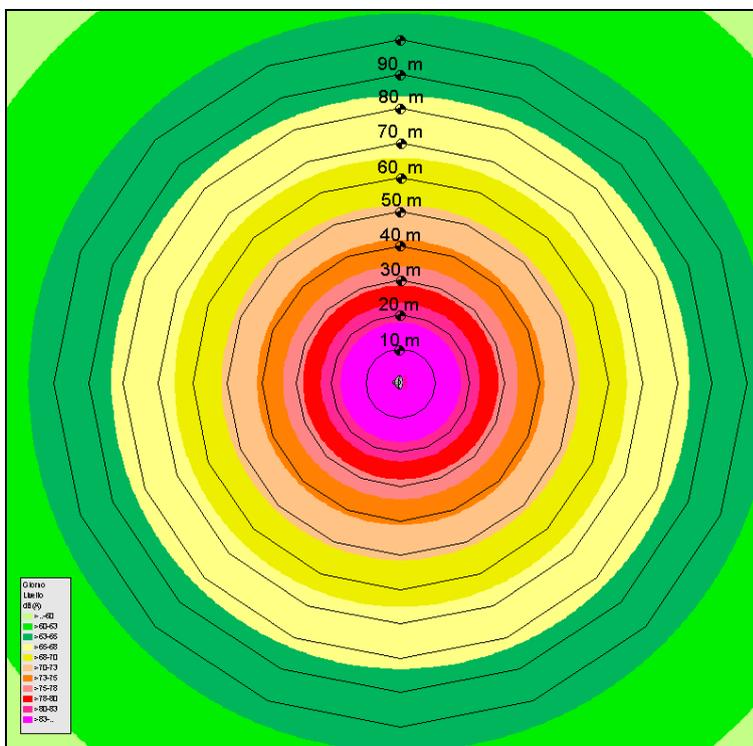
Punto ricevitore m	Lp dB(A)
10	88,5
20	82,6
30	77,8
40	74,2
50	71,6
60	69,7
70	67,4
80	66,6
90	65,5
100	64,4

Stoccaggio (movimentazione terre)



Punto ricevitore m	Lp dB(A)
10	82,7
20	76,8
30	72,0
40	68,4
50	65,8
60	63,9
70	61,6
80	60,8
90	59,7
100	58,6

Realizzazione opere (scarifica)



Punto ricevitore m	Lp dB(A)
10	87,3
20	81,4
30	76,6
40	73,0
50	70,4
60	68,5
70	66,2
80	65,4
90	64,3
100	63,2

6.2 Vibrazioni

Osservando la figura appare evidente come nella situazione di progetto lo spettro dell'accelerazione ponderata (UNI 9614 per asse generico) risulti caratterizzato, soprattutto all'allontanarsi dalla sorgente, dalla presenza delle frequenze più basse (5 Hz). Per ogni distanza della sede dell'attività di scavo, diviene a questo punto 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 che viene mostrata graficamente nel paragrafo seguente.

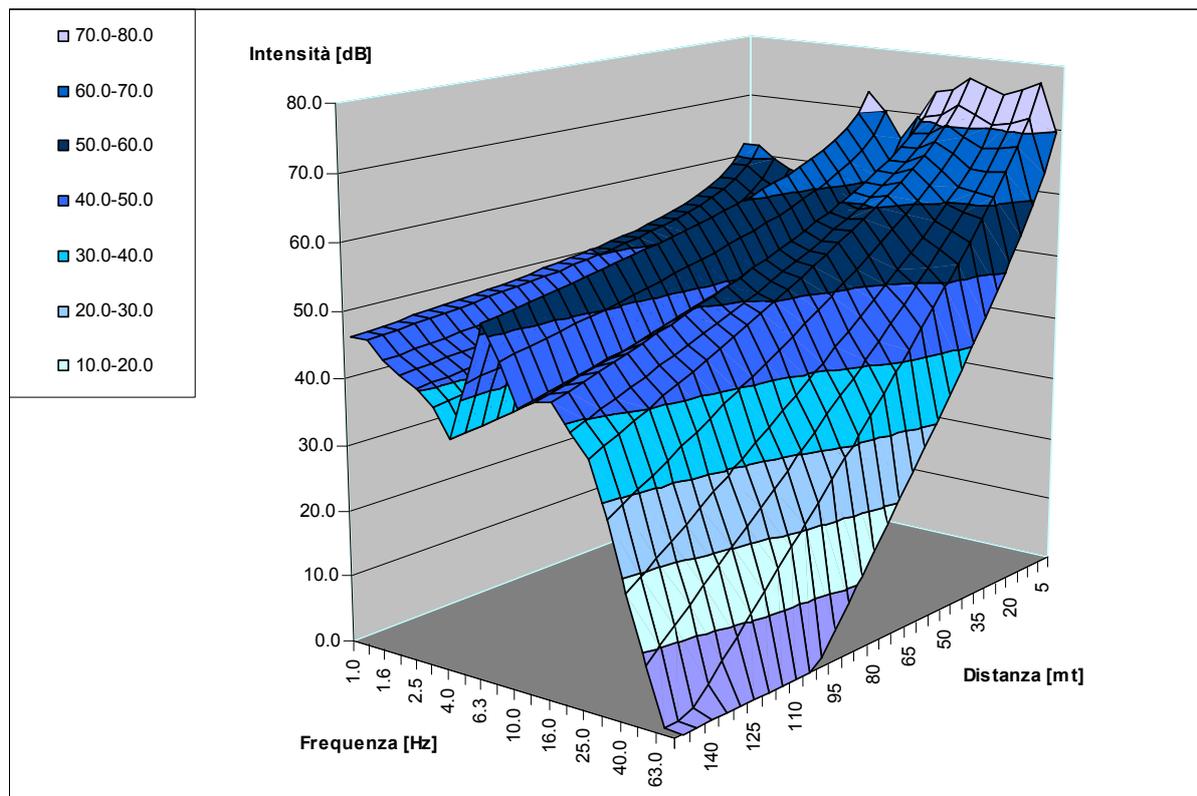


Figura 11 - Livelli di accelerazione in dB (UNI 9614) per singola frequenza stimati durante la fase di scavo e movimentazione terre nel cantiere in linea

6.2.1 Stima dei futuri livelli vibrazionali derivanti dal cantiere

Il modello semplificato 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.

Si rammenta poi 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.

Nelle riferimento ai limiti, verranno pertanto indicate anche le linee orizzontali corrispondenti al limite di accettabilità (77) dB ed al limite ridotto per tenere conto dei possibili effetti di amplificazioni prodotti dagli edifici (qui assunti mediamente pari a 5 dB).

6.2.2 Stima dei ricettori impattati

Nelle seguenti considerazioni sull'entità degli impatto vibrazionale presso i ricettori, avendo assunto per edifici residenziali un valore limite ammissibile pari a 77 dB, in virtù del periodo di lavoro unicamente diurno, si applicherà un fattore di riduzione che tenga conto della possibile sovramplicazione da parte della struttura dell'edificio recettore (qui assunta mediamente pari a 5 dB) per fissare di conseguenza un secondo valore di riferimento maggiormente cautelativo pari a 72 dB (limite ridotto).

Dall'analisi della legge di variazione spaziale del valore complessivo ponderato dell'accelerazione per le tre attività individuate in precedenza, si osserva come nelle attività di scavo e movimentazione materiali il limite ridotto di 72 dB viene raggiunto ad una distanza di circa 35 m.

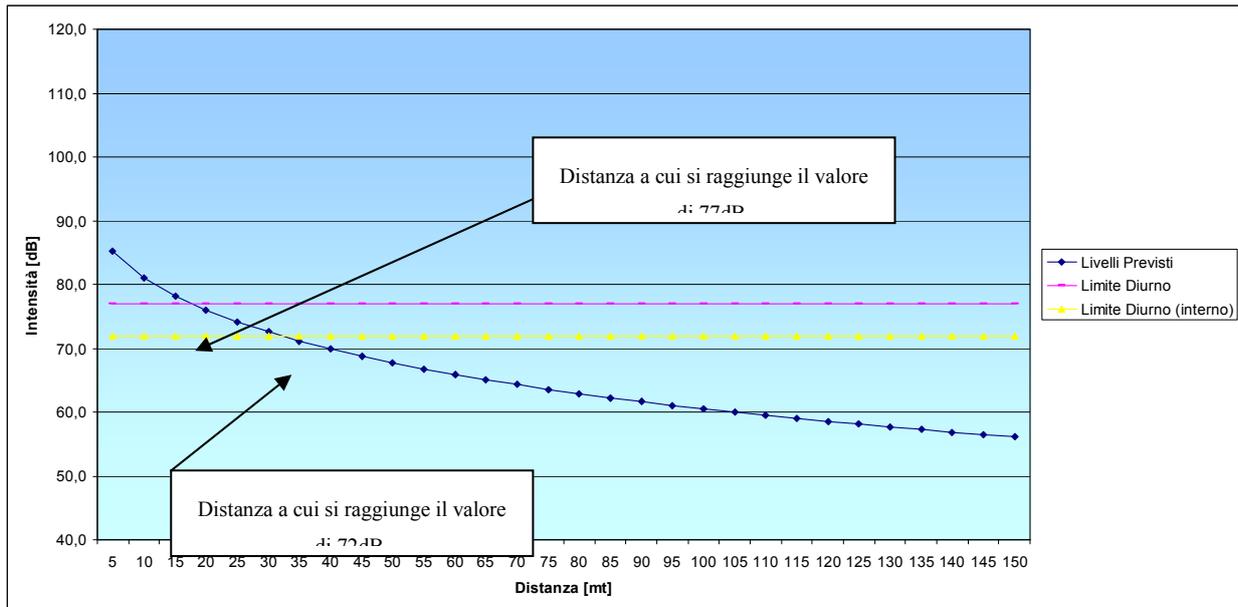


Figura 12 - Livelli di accelerazione complessiva in dB stimati durante la fase di scavo e movimentazione materiali all'interno del cantiere in linea

6.2.3 Rappresentazione dei risultati delle simulazioni

Il calcolo del livello di vibrazione in condizioni di campo libero, è stato definito nell'intorno del cantiere con una risoluzione di circa 5 m nelle due direzioni orizzontali, ottenendo delle griglie che sono state successivamente utilizzate con un programma di interpolazione (i files GRD prodotti sono stati infatti elaborati con Surfer) per ottenere delle mappature isolivello.

Tali mappature isolivello sono state poi convertite in formato DXF, e conseguentemente importate in Autocad, ove sono state sovrapposte alla cartografia digitalizzata che rappresenta l'area di cantiere ed il tessuto urbano circostante.

Si rammenta come l'impatto vibrazionale nelle simulazioni numeriche sia stato valutato in termini di livello ponderato globale di accelerazione $L_{w,z}$, in campo libero, (definito in unità dB secondo la normativa UNI 9614 per asse generico), per un confronto con i limiti di disturbo alle persone. Dall'analisi delle mappe isolivello si nota come anche a fronte di livelli di emissione vibrazionale talvolta elevati in prossimità delle sorgenti, corrispondano comunque decadimenti dei valori previsti sotto i 70 dB a distanze stimabili in circa 90 metri dal punto di emissione.

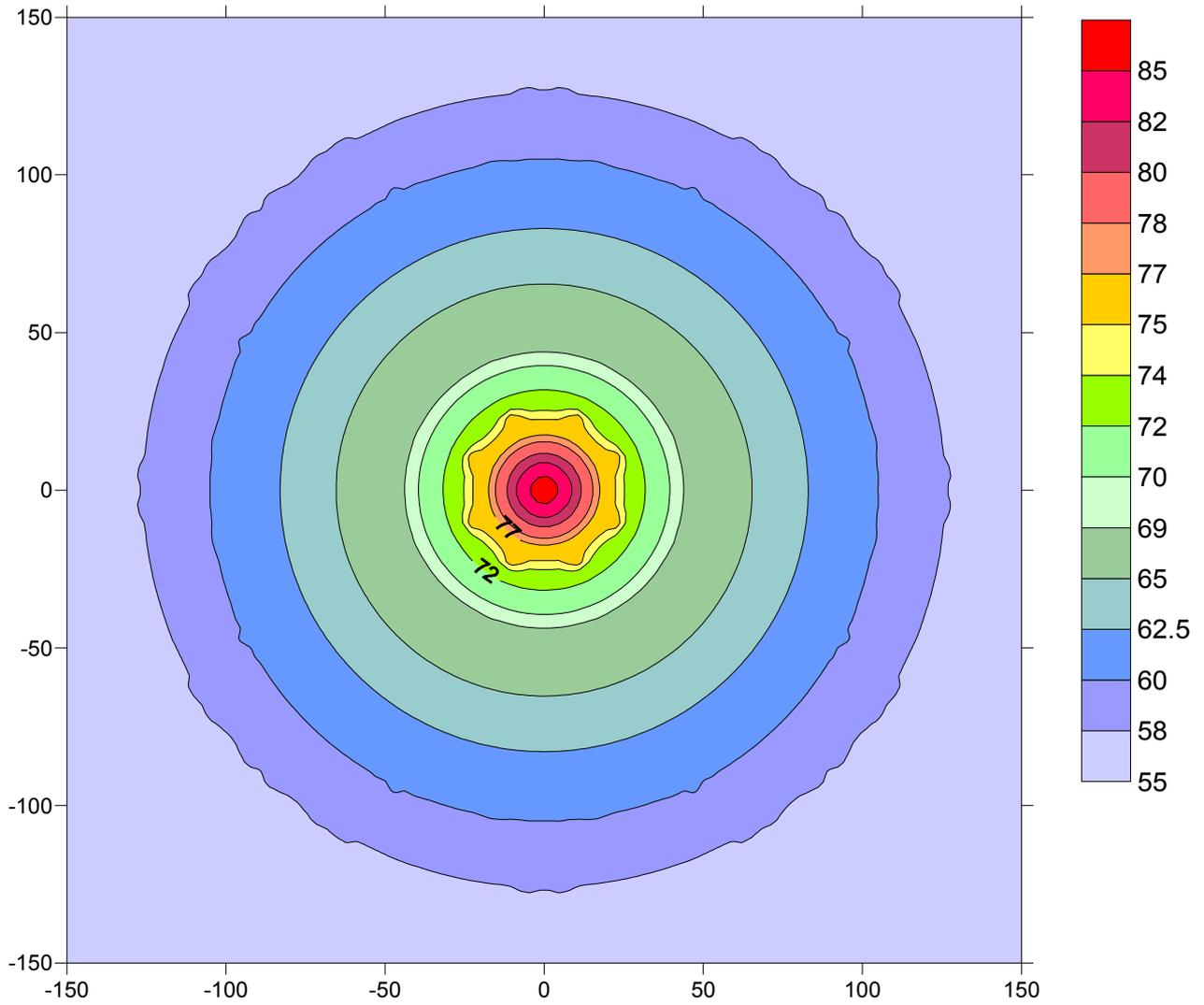


Figura 13 - Livelli di accelerazione ponderata complessiva in dB stimati durante la fase di scavo e movimentazioni materiali

7 CONCLUSIONI

7.1 Rumore

Vista la situazione cautelativamente peggiorativa descritta in questa relazione, il reale disturbo riscontrabile presso i ricettori è presumibilmente inferiore (a causa della distanza dalla sede stradale su cui sono stati collocati i ricevitori virtuali e della contemporaneità delle lavorazioni che non risulteranno sempre presenti) ai livelli di rumore calcolati dal modello numerico.

I livelli riscontrati in sede di simulazione sono comunque di entità tale da dover provvedere a redigere prima dell'inizio dei lavori le necessarie richieste di deroga ai limiti acustici previsti dai PCCA dei comuni interessati.

I livelli previsti dalle attività relative ai cantieri in linea mostrano dei livelli tali da dover provvedere fin da questa fase della progettazione del cantiere ad installare delle barriere mobili in prossimità della macchine operatrici che eseguono lo scavo.

7.2 Vibrazioni

Le simulazioni sono state condotte impiegando un metodo di analisi basato su una definizione cautelativa degli scenari di cantiere più impattanti, basato sulla combinazione degli spettri di emissione dei diversi macchinari da cantiere impiegati e sull'assunzione di un funzionamento contemporaneo nell'istante considerato.

I risultati delle simulazioni numeriche evidenziano come i livelli di vibrazione attesi durante i lavori di realizzazione propedeutiche alla realizzazione della tratta T3 potrebbero raggiungere valori significativi per ricettori posti nelle aree limitrofe anche a distanze di 40 m dal cantiere, in termini di disturbo alle persone.

Si rammenta tuttavia le attività di scavo risultano una piccola parte rispetto all'intero ciclo di vita del cantiere: è ipotizzabile che nell'arco della giornata lavorativa una produzione di vibrazioni inferiore a quella simulata (3 elementi attivi in stretta vicinanza contemporaneamente) non avvenga per un tempo superiore alle 30% della giornata e per un periodo di tempo limitato.

Va infatti osservato come i valori di accelerazione qui calcolati siano stati stimati cautelativamente attraverso una modellazione che considera la sorgente di vibrazione

costante, mentre in realtà essa risulta mobile ed ha comunque caratteristiche di limitata durata temporale.

Nel confronto dei risultati delle simulazioni con i limiti di vibrazione definiti dalla norma UNI va quindi tenuto presente il loro riferimento al caso di sorgente fissa: sono quindi necessariamente più restrittivi di quanto la situazione esaminata può richiedere.

In conclusione si ritiene che le attività esaminate non arrechino presso i ricettori più impattati livelli di vibrazioni tali poter essere percepite dagli occupanti del ricettore come disturbo, fatto salvo per le eventuali strutture edilizie poste a stretto contatto con il perimetro di cantiere.

Alla luce delle precedenti considerazioni non si ritengono necessarie particolari misure per la mitigazione delle vibrazioni indotte dai macchinari di cantiere, rimarcando tuttavia la necessità di accorgimenti esecutivi, legati alla scelta delle macchine di cantiere, alle modalità di condotta delle stesse da parte del personale addetto e a un accorto monitoraggio in corso d'opera in corrispondenza dei ricettori più critici evidenziati.

Dalla analisi delle attività lavorative è risultato che durante le normali operazioni, se eseguite ad una distanza dai ricettori inferiore a trenta metri (che allo stato attuale non risultano peraltro necessarie) sarà consigliato un monitoraggio in corso d'opera presso il ricettore stesso.