

REGIONE SARDEGNA

Provincia del Sulcis Iglesiente

COMUNI DI CARBONIA E IGLESIAS



REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.
1	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	27/05/22	ANTEX	FURNO C.	NASTASI A.
0	EMISSIONE PER COMMENTI	20/05/22	ANTEX	FURNO C.	NASTASI A.

Committente:

IBERDROLA RENOVABLES ITALIA S.p.A.



Sede legale in Piazzale dell'Industria, 40, 00144, Roma
Partita I.V.A. 06977481008 - PEC: iberdrolarenovablesitalia@pec.it

Società di Progettazione:



Ingegneria & Innovazione

Via Jonica, 16 - Loc. Belvedere - 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1663409
Web: www.antexgroup.it e-mail: info@antexgroup.it

Progetto:

PARCO EOLICO "CARBONIA"

Progettista/Resp. Tecnico:

Dott. Ing. Cesare Furno
Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Catania
n° 6130 sez. A

Elaborato:

STUDIO IMPATTO DA VIBRAZIONI

Scala:

NA

Nome DIS/FILE:

C20033S05-VA-RT-10-01

Allegato:

1/1

F.to:

A4

Livello:

DEFINITIVO

Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl.
È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta.
La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.





PARCO EOLICO "CARBONIA"
STUDIO IMPATTO DA VIBRAZIONI



27/05/2022

REV: 1

Pag.2

INDICE

1. Premessa	3
2. Generalità e Metodologia adottata.....	4
3. Caratterizzazione delle sorgenti	8
4. Calcoli e Verifica	10
5. Conclusioni	16

1. Premessa

Su incarico di IBERDROLA Renovables Italia S.p.A., la società ANTEX GROUP Srl ha redatto il progetto definitivo per la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato Parco Eolico "Carbonia", con potenza nominale installata pari a 66 MW, da realizzarsi nei territori dei Comuni di Carbonia e Iglesias nella Provincia di Sulcis Iglesiente. Il numero totale di turbine eoliche che saranno installate è pari a 11 con una potenza nominale pari a 6 MW per ogni aerogeneratore.

Gli aerogeneratori saranno collegati alla nuova Stazione di trasformazione Utente, posta nel comune di Gonnese, tramite cavidotti interrati con tensione nominale pari a 33 kV.

La stazione di trasformazione utente riceverà l'energia proveniente dall'impianto eolico a 33 kV e la eleverà alla tensione di 220 kV. Tutta l'energia elettrica prodotta verrà ceduta alla rete tramite collegamento in antenna a 220 kV sulla futura Stazione Elettrica (SE) di Smistamento 220 kV della RTN da inserire in entrata - esce alla linea RTN a 220 kV "Sulcis - Oristano".

Le attività di progettazione definitiva e di studio di impatto ambientale sono state sviluppate dalla società di ingegneria Antex Group Srl.

Antex Group Srl è una società che fornisce servizi globali di consulenza e management ad Aziende private ed Enti pubblici che intendono realizzare opere ed investimenti su scala nazionale ed internazionale.

È costituita da selezionati e qualificati professionisti uniti dalla comune esperienza professionale nell'ambito delle consulenze ingegneristiche, tecniche, ambientali, gestionali, legali e di finanza agevolata e pone a fondamento delle attività, quale elemento essenziale della propria esistenza come unità economica organizzata ed a garanzia di un futuro sviluppo, i principi della qualità, come espressi dalle norme ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001 nelle loro ultime edizioni.

Antex Group in un'ottica di sviluppo sostenibile proprio e per i propri clienti, è in possesso di un proprio Sistema di Gestione Qualità certificato ISO 9001:2015 per attività di "Servizi tecnico-professionali di ingegneria multidisciplinare".

2. Generalità e Metodologia adottata

L'energia vibratoria generata da mezzi e macchinari di cantiere si propaga nel terreno a ridosso delle aree di cantiere, e può interessare edifici situati in prossimità. Tali moti vibratorii, filtrati dalla natura geolitologica dei terreni, interagiscono con le fondazioni e le strutture degli edifici, e possono essere percepiti dalle persone che vi abitano (effetti di disturbo) ed anche determinare moti con risposte strutturali e di integrità architettonica (effetti di danno o cosiddetti "cosmetici"). Questi due aspetti sono trattati da norme specifiche, ed in particolare:

- UNI 9614 (2017) Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo;
- UNI 9916 (2014) Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.

La complessità fenomenologica del campo vibratorio, a partire dai diversi modi e tipologia di generazione, dalle possibili modalità di propagazione nel terreno ed attenuazione con la distanza, fino alle varie interazioni con strutture edificate (che dipendono da tipologia di costruzione e di fondazione), fa sì che normalmente si ricorre ad un approccio di tipo analitico empirico per la valutazione previsionale. In generale è possibile schematizzare i modi di trasmettere sollecitazioni meccaniche nel suolo con tre tipi diversi di onde:

- onde di compressione (modi longitudinali);
- onde di taglio (modi trasversali);
- onde di superficie.

Le prime due sono onde di volume, dette anche di tipo P e S, mentre le onde di superficie, che si propagano sull'interfaccia fra due strati con diverse proprietà meccaniche (e quindi anche tra terreno ed aria), possono essere distinte nelle cosiddette onde di Love e di Rayleigh, caratterizzate queste ultime da un moto delle particelle di tipo ellittico con componente verticale ed orizzontale.

In un mezzo isotropo l'energia sviluppata da un impulso verticale si trasmette per il:

- 67% come onda superficiale
- 6% come onda di taglio
- 7 % come onda di compressione

Da questi dati si comprende che è l'onda di superficie quella che va maggiormente ad interessare le fondazioni di edifici posti nelle vicinanze di una forza impulsiva. Tenendo conto che in genere le perturbazioni oscillatorie sono predominanti in senso verticale rispetto a quello trasversale, le onde di Rayleigh diventano il modo di propagazione di maggior interesse. Vi è una relazione dispersiva tra le frequenze e la velocità di propagazione; si può dimostrare come un'onda di superficie nella sua propagazione non mantiene la stessa forma, e come un'onda ad alta frequenza si propaga più velocemente di una a bassa frequenza. Come ordine di grandezza si consideri che le frequenze per un'onda superficiale in un terreno medio variano tra i 5 e i 35 Hz e che le ampiezze delle accelerazioni prodotte si attenuano disperdendosi nel suolo fino a diventare inefficaci per valori prossimi a 0.02m/s^2 . Questo limite può ottenersi per una distanza dalla sorgente compresa tra i 40 e 80 m.

Il modello di propagazione si basa sulla seguente formula:

$$a(d, f) = a(d_o, f) \left(\frac{d}{d_o} \right)^n e^{-\frac{2\pi f \eta}{c}(d-d_o)} \quad (1)$$

dove

a è l'ampiezza dell'oscillazione

d_o è la distanza di riferimento a cui è noto lo spettro di

d è la distanza di calcolo

η è il fattore di perdita del terreno

c è la velocità di propagazione.

È possibile riscrivere l'equazione (1) in termini di livelli, considerando la definizione:

$$L_a = 20 \log \left(\frac{a}{a_o} \right), \quad a_o = 10^{-6} \text{ m/s}^2$$

quindi

$$L_a(d, f) = L_a(d_o, f) - 20 \log \left(\frac{d}{d_o} \right)^n - 20 \log \left(e^{-\frac{2\pi f \eta}{c}(d-d_o)} \right) \quad (2)$$

L'esponente n varia secondo il tipo di onda e di localizzazione della sorgente di vibrazione. Il termine esponenziale nelle equazioni (1) e (2) descrive il fenomeno della dissipazione energetica, che cresce proporzionalmente alla frequenza. In altri termini le vibrazioni alle alte frequenze si estinguono dopo un breve percorso, mentre quelle alle frequenze più basse si propagano a distanze maggiori.

Il rapporto η/c dipende dal tipo di terreno.

C'è un'altra formulazione del livello di accelerazione alla distanza r dalla sorgente, fornita da Rudder (citato da R. Pisani, "Origine, propagazione e modelli previsionali delle vibrazioni dei mezzi di trasporto"):

$$L(d) = L(d_o) + 10 \log \left(\frac{d_o}{d} \right) - 8.69 \alpha (d - d_o) \quad (3)$$

dove α è la costante di attenuazione del terreno.

Il termine relativo all'attenuazione per dissipazione dell'energia meccanica è ottenuto dalla relazione Riguardo alle vibrazioni indotte dal transito di veicoli, è applicabile la seguente relazione (Rudder):

$$L_o = -4.1(PSR) + 17.2 \log(V) + 10 \log(W_G) + 52 \quad \text{dB re } 10^{-6} \text{ m/s}^2 \quad (4)$$

L_o = livello a 2 m di distanza dal ciglio della strada

PSR coefficiente dipendente dal tipo di rugosità (4.5 per un asfalto nuovo, 2 per un asfalto usurato, 1 per sterrato)

V velocità in km/h

W_G peso lordo del veicolo in tonnellate.

Nell'effettuare un calcolo analitico della propagazione di vibrazioni si effettuano diverse ipotesi semplificatrici:

- si considera il terreno omogeneo e isotropo;
- la propagazione dell'energia vibrazionale avviene sulla superficie del suolo per mezzo di onde di Rayleigh; l'effetto delle onde primarie, secondarie e di Love è trascurato;
- ogni sorgente emette energia vibrazionale in superficie in modo omnidirezionale.

La propagazione delle sollecitazioni meccaniche dal suolo all'interno degli edifici dipende in ultima analisi delle caratteristiche costruttive dell'edificio, che determinano la risposta locale di pareti e solai. Ai fini della valutazione si dovrà tenere conto di due aspetti fondamentali:

- interazione suolo fondazione;
- propagazione nel corpo dell'edificio.

La differenza tra il livello di vibrazione nel terreno e quello della fondazione è detta Coupling Loss (attenuazione per perdita di accoppiamento); nella seguente tabella sono forniti i valori sperimentali medi della perdita di accoppiamento in funzione di alcuni tipi caratteristici di fondazione:

Edificio	FREQUENZA C.B. 1/3 OTTAVA [HZ]														
	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
Perdita di Accoppiamento [dB]															
Edifici in muratura su pali nel terreno	5.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10	11	12	13	14	14.5	14.5	15	14
Edifici in muratura	12	13	13.5	14.5	15	15	15	15	14	13	13.5	13	12.5	12	11.5
Edifici con telaio in C.A. e muratura, plinti	10	11	11.5	12.5	13	13	13	13	12.5	12.5	12	11	9.5	8.5	8

Coupling Loss

Per quanto riguarda invece le caratteristiche strutturali degli edifici che influiscono sulla propagazione, si considerano le due componenti:

1. propagazione da piano a piano;
2. amplificazione degli orizzontamenti.

Valori empirici in funzione della frequenza sono riportati nelle seguenti tabelle:

Piano	SPETTRO DI ATTENUAZIONE PER PROPAGAZIONE DA PIANO A PIANO														
	(RE 10-6 M/S2) [DB]														
	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
1° ORIZZONTAMENTO	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-	-	-
2° ORIZZONTAMENTO	-4	-2	-2	-4	-5	-5	-5	-5.5	-6	-6	-6	-6	-	-	-
3° ORIZZONTAMENTO	-6	-6	-6	-6	-7	-7	-7	-7	-7.5	-8	-9	-9	-	-	-

Attenuazione per frequenza

Considerando tipologie standard di solai:

LUCE DEL SOLAIO	SPETTRO DI AMPLIFICAZIONE DEGLI ORIZZONTAMENTI (RE 10-6 M/S2) [DB]														
	FREQUENZA C.B. 1/3 OTTAVA [HZ]														
	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
luce da 4 m	1	4.4	16.5	4	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
luce da 5 m	2.5	20	1.2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Amplificazione degli orizzontamenti

I valori di riferimento - soglie di accettabilità in riferimento al disturbo sulle persone ("annoyance"), dipendono in misura variabile dall'intensità e frequenza dell'evento vibratorio e dal tipo di attività svolta. Le potenziali situazioni di danno strutturale agli edifici si verificano in corrispondenza di livelli di vibrazione notevoli, superiori di almeno un ordine di grandezza rispetto ai livelli tipici dell'annoyance: **la verifica quindi del rispetto dei limiti per il disturbo alle persone (ai sensi della UNI 9614) può escludere effetti seppur minimi di danneggiamento sugli edifici (ai sensi della UNI 9916).**

Considerando cumulativo l'effetto di tutte le componenti di accelerazione per frequenze da 1 a 80 Hz, sono introdotti filtri di ponderazione che dipendono dalla postura della persona. Il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza L_w è fornito dalla relazione:

$$L_w = 10 \log \sum_1 10^{L_{i,w}/10}$$

dove $L_{i,w}$ sono i livelli di vibrazione in accelerazione calcolati per terzi di ottava, ponderati in frequenza secondo il filtro per postura non nota.

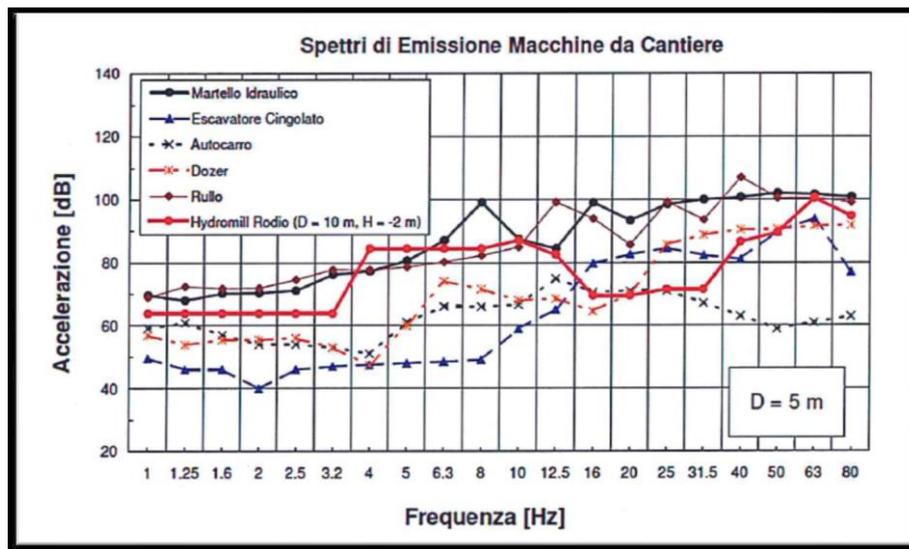
I valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza per postura non nota (per vibrazioni di tipo continuo) sono:

Luogo	A [m/s ²]	L [dB]
Aree critiche	3.3 * 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

L'ultima riga della tabella è in realtà ormai inapplicabile a seguito dell'entrata in vigore del decreto legislativo che fissa i limiti di esposizione alle vibrazioni in ambiente di lavoro.

3. Caratterizzazione delle sorgenti

Per la valutazione dei livelli delle singole sorgenti si può far riferimento agli spettri di emissione dei macchinari di cantiere rilevati sperimentalmente in studi analoghi o presenti in letteratura tecnica.



Spettro tipo emissione di macchine da cantiere

Nella figura precedente gli spettri, misurati ad una distanza di 5 m dalla sorgente vibratoria, sono riferiti alla componente verticale dei seguenti macchinari:

- martello idraulico (tipo Hitachi H50 - FH450LCH.3 o similari);
- escavatore cingolato (tipo Fiat-Hitachi FH300, in fase di scavo e carico autocarro);
- autocarro (tipo Mercedes Benz 2629 o similari);
- rullo (tipo Dynapac FD25 o similari);
- idrofresa (tipo Rodio Hydromill o similari).

Altri dati bibliografici - spettri di accelerazione in mm/s² rilevati a 1-20 m di distanza (L. H. Watkins "Environmental impact of roads and traffic", Appl. Science Publ.):

Macchina / Attrezzatura	Camion da cantiere	Camion ribaltabile	Rullo compattatore vibrante	Rullo compattatore (non pesante (non vibrante)	Pala gommata carica	Pala gommata scarica	Ruspa cingolata piccola	
Distanza	10	10	10	10	10	20	10	
Spettro (Hz)	1	0	0	0	0	0	0	
	1.25	0	0	0	0	0	0	
	1.6	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	0.3	1.6	0.41	0.35	1.1
	2.5	0	0	0.3	1.7	0.41	0.35	1.1
	3.15	0	0	0.3	2	0.41	0.35	1.1
	4	0	0	0.3	0.85	0.48	0.35	1.1
	5	0.15	0.11	0.8	5.8	0.52	0.35	1.4
	6.3	0	0.23	0.7	11	0.50	0.4	1.6
	8	0.12	0.41	0.8	18	0.76	1.2	3.2
	10	0.15	0.5	1.1	20	1.10	0.9	4.2
	12.5	0.29	0.6	1	40	1.25	1.75	8
	16	0.5	1.1	2	20	2	1.26	6
	20	1.67	2.99	1.55	4	3	2	18
	25	1.85	9	6	12	17	5.2	24
	31.5	2.5	3.9	29	7	17	2.6	16
	40	6	3.3	3	3.7	7.8	1.6	10
50	5.5	4	1	3.7	15	1.6	9	
63	5.2	10	1.6	5	14	1.5	6	
80	4	8	2	4	7.8	2	5.5	

Spettri di accelerazione

4. Calcoli e Verifica

Le attività di cantiere saranno svolte esclusivamente nelle ore diurne, pertanto è da escludersi un qualsiasi impatto notturno. Si prenderanno in considerazione i ricettori che risultano più vicini alle aree di cantiere nelle fasi a maggior emissione. Tutti gli altri ricettori saranno esposti quindi a livelli inferiori.

È stata effettuata una verifica delle previste attività di cantiere al fine di individuare gli scenari più significativi in termini di impatto; il calcolo dei livelli vibrazionali ai ricettori risultanti dalle configurazioni di macchinari da cantiere negli scenari previsti è stato condotto assumendo la regola SRSS (Square Root of the Sum of Squares), valida nel caso di accoppiamento incoerente di sorgenti multiple. Questo significa che si assume, a titolo precauzionale, che tutti i macchinari associati ad una specifica fase lavorativa operino contemporaneamente.

Si considerano i seguenti scenari:

FASE LAVORATIVA	MACCHINARI UTILIZZATI
1. Modifica e sistemazione della Viabilità	Pala meccanica cingolata
	Escavatore cingolato con benna
	Autocarro
	Rullo compattatore / compressore
2. Realizzazione di opere in C.A. (fondazioni)	Pala meccanica cingolata
	Escavatore cingolato con benna
	Autocarro

Individuazione dei ricettori maggiormente esposti e della disposizione dei macchinari nelle due fasi lavorative:

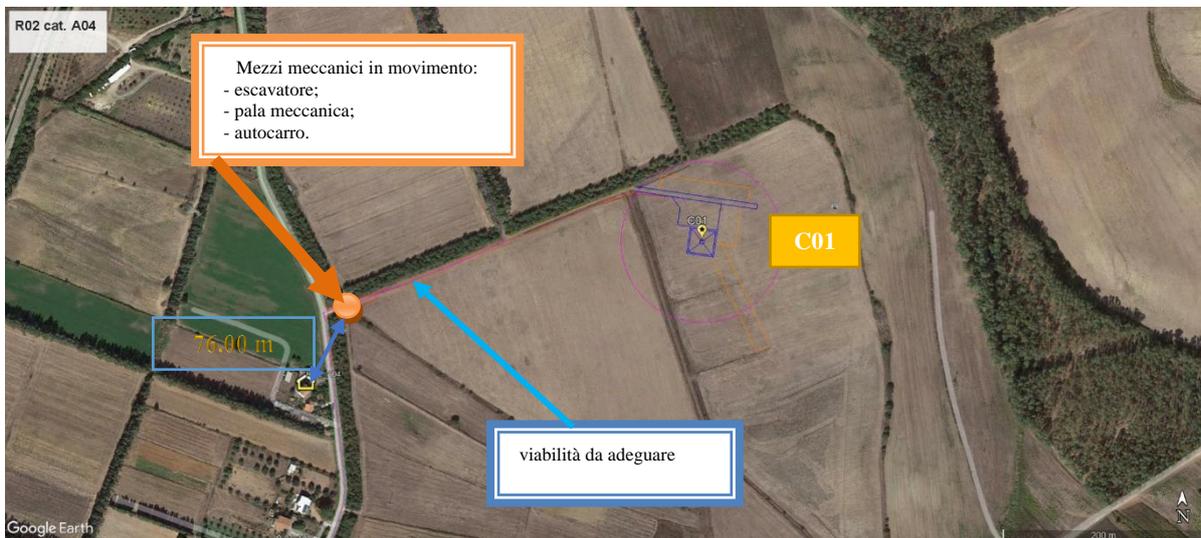


Figura 1: scenario n.1 adeguamento viabilità



Figura 2: scenario 2 fondazioni WTG C01

Nelle immagini precedenti sono descritte le due condizioni al limite più sfavorevoli:

1. Viabilità di cantiere, adeguamento tratto stradale di accesso alla turbina C01, sul ricettore R02 per la condizione più sfavorevole alla distanza di 76 m;
2. Fondazioni in C.A. nuovo aerogeneratore con ricettore R02 a distanza 422,00 m dal cantiere, individuato come recettore sensibile con condizione più sfavorevole.

Scheda Ricettori:

COMUNE	RICETTORE	C. CAT.	COORDINATE WGS84	
CARBONIA	R02	A/4	462550.00 m E	4344809.00 m N



Figura 3: Ricettore R02

I fabbricati oggetto di verifiche sono costruiti con due piani fuori terra con copertura a falde, con struttura in muratura. Le fondazioni sono ipotizzate come cordoli in pietra a contorno del perimetro portante dell'edificio. Utilizzati come fabbricati per attività agricole e prevalentemente per ricovero di attrezzature agricole e deposito.

Vista la categoria catastale assegnata ai due immobili A4 residenza, considerando il caso più sfavorevole di utilizzo in termini vibrazione, si considera di assegnare la tipologia "Abitazioni (notte)" dalla tabella che riporta i livelli suggeriti come limite dalla norma UNI 9614.

Luogo	A [m/s ²]	L [dB]
Aree critiche	3.3 * 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

Si assume, sempre a titolo cautelativo, che tutti i macchinari siano posizionati alla minima distanza dal ricettore R02, nella seguente tabella i parametri di riferimento ed i valori in frequenza utilizzati nei calcoli, tenendo in considerazione la natura del terreno come: *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a*



PARCO EOLICO "CARBONIA"
STUDIO IMPATTO DA VIBRAZIONI



27/05/2022

REV: 1

Pag.13

grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s, avendo determinato una velocità media delle onde di taglio VS entro i 30,0 metri di profondità compresa tra 361 m/s e 496 m/s.

PARAMETRO	VALORE	U.M
Cr	600	m/s
n	0,5	Adim.
η	0,01	Adim.
α	0,023	Adim.
d fase 1 – viabilità su R02	76	m
d fase 2 – C.A. su R02	422	m

Devono essere "normalizzati" gli spettri sorgenti (cioè riportati alla stessa distanza di riferimento) e quindi combinati mediante la regola SRSS; vanno quindi propagati al ricettore (introducendo l'attenuazione per la distanza, indipendente dalla frequenza, e quella per l'assorbimento del terreno, dipendente dal terreno). A questo punto il livello di vibrazione va fatto interagire con le fondazioni dell'edificio (coupling loss), e con gli orizzontamenti presenti, ed infine pesato con la curva di ponderazione per postura non nota al fine di confrontarlo con i valori limite della UNI 9614.

Calcolo attenuazione distanza: $A_g = 20 \log(x/x_0)^n$ dove $n=0,5$, x distanza della sorgente dal punto di emissione (stimata 5,00 ml) e x_0 la distanza di riferimento.

Intervento n.1: Viabilità di Cantiere

Banda	Spettro	Atten. Modello Previsionale	Coupling Loss	Attenuaz. Propagaz. Piano/piano	Ponder, Postura asse z	Ponderaz.	Livello
1,00	70,9	18,05	8		7		3,05
1,25	73,4	18,69	9		5		4,69
1,60	71,6	18,23	9		4		5,23
2,00	71,8	18,28	9		3		6,28
2,50	72,8	18,53	9		2,5	0,50	6,53
3,15	74,2	18,89	10		1	1	6,89
4,00	73	18,59	10				8,59
5,00	74,1	18,87	10				8,87
6,30	75,6	19,25	10				9,25
8,00	79,4	20,21	11				9,21
10,00	82,5	21,00	11				10,00
12,50	93,3	23,75	12	4			7,75
16,00	90,2	22,96	13	2			7,96
20,00	98,5	25,08	13,5	2			9,58
25,00	103,7	26,40	14,5	4			7,90
31,50	103,3	26,30	15	5			6,30
40,00	105	26,73	15	5			6,73
50,00	107,9	27,47	15	5			7,47
63,00	111	28,26	15	5,5			7,76
80,00	118,7	30,22	14	6			10,22

I livelli sono ponderati secondo le tabelle di postura, considerando l'asse z (posizione verticale).

Il livello previsto al ricevitore è sempre ≤ 74 dB.

Intervento n 2: Fondazioni C.A.

Banda	Spettro	Atten. Modello Previsionale	Coupling	Attenuaz.	Ponder. Postura asse z	Ponderaz.	Livello
1,00	75,5	7,87	8		7		***
1,25	73,7	7,68	9		5		***
1,60	72,8	7,59	9		4		***
2,00	72,2	7,52	9		3		***
2,50	71,3	7,43	9		2,5	0,50	***
3,15	70,6	7,36	10		1	1	***
4,00	69,9	7,28	10				***
5,00	70,7	7,37	10				***
6,30	71,3	7,43	10				***
8,00	76,7	7,99	11				***
10,00	79,7	8,30	11				***
12,50	86,2	8,98	12	4			***
16,00	85,1	8,87	13	2			***
20,00	96,2	10,02	13,5	2			***
25,00	100,7	10,49	14,5	4			***
31,50	100	10,42	15	5			***
40,00	100,5	10,47	15	5			***
50,00	109,9	11,45	15	5			***
63,00	107,2	11,17	15	5,5			***
80,00	110,5	11,51	14	6			***

Il livello previsto al ricevitore è nullo.

Per calcolare il contributo dei mezzi di trasporto, anche in questo caso si farà riferimento alla situazione "peggiore", considerando il transito sulla viabilità su strada asfaltata, nel punto più vicino al ricevitore maggiormente esposto (R02-abitazione, circa 17 m), di una autobetoniera a 4 assi a pieno carico (circa 11 metri cubi di calcestruzzo), per un peso complessivo di circa 40 tonnellate.

Valori di studio:

PARAMETRO	VALORE	U.M.
PSR	1	Adim.
V	20	Km/h
Wg	40	Ton.
α	0.023	Adim.

$L_0 = 86,3$ dB (a 2 m dal ciglio della strada).

A questo punto, utilizzando la relazione

$$L(d) = L(d_0) + 10 \log\left(\frac{d_0}{d}\right) - 8.69\alpha(d - d_0)$$

(dove $L(d_0) = L_0$), con $d = 18,00$ m, si ricava:

$$L(d) = 73,56 \text{ dB}$$

Questo è il livello di vibrazione presente nel suolo al piede dell'edificio ricevente R02, che deve interagire con la fondazione (ci si attende una coupling loss di diversi dB), propagarsi ai piani sovrastanti (attenuazione di almeno 2-3 dB) ed eventualmente essere amplificato dagli orizzontamenti presenti. Il livello finale andrebbe poi filtrato con la curva di ponderazione per postura non nota, e confrontato con il valore limite per le abitazioni in periodo diurno: avendo ottenuto comunque, al piede dell'edificio, $L(d) = 73,56$ dB, si esclude qualsiasi effetto di disturbo ai sensi della UNI 9614, perché il valore è inferiore ai limiti previsti dalla normativa.

5. Conclusioni

Il livello di vibrazione stimato con ipotesi precauzionali sui ricettori maggiormente esposti durante le fasi più impattanti delle lavorazioni di cantiere è sempre risultato largamente inferiore ai valori limite di valutazione del disturbo (UNI 9614); di conseguenza sono da escludersi anche potenziali effetti di danno strutturale o estetico agli stessi edifici (UNI 9916).

Essendo tutti gli altri edifici a distanze maggiori rispetto ai ricettori considerati nei calcoli, anche per essi valgono le considerazioni di cui sopra.

SCENARI	LIMITI DI NORMATIVA	RISULTATI
1. Cantiere Viabilità	74 dB	Verificato
2. Fondazioni C.A.		Verificato
3. Mezzi di trasporto		Verificato