



Realizzazione della terza corsia nel tratto compreso tra Verona Nord (Km 223) e l'intersezione con l'Autostrada A1 (Km 314)

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE - Aggiornamento 2020

Emissione/revisione Settembre 2023 per richiesta integrazioni M.A.S.E.



ALL. D	ALLEGATO D: VIBRAZIONI D.1 - Studio vibrazionale – Relazione
---------------	--

Data	Revisione	Redazione	Verifica	Approvazione
Settembre 2023	00	V. Buttafuoco	A.C. Bertetti	M. Tamanini

Progettista e responsabile SIA

**ORDINE DEGLI INGEGNERI
 DELLA PROV. DI BOLZANO**
Dott. Ing. CARLO COSTA
 Nr. 891
**INGENIEURKAMMER
 DER PROVINZ BOZEN**



Sommario

1	PRESENTAZIONE DELLO STUDIO VIBRAZIONALE	3	6.2	Selezione preliminare delle aree potenzialmente critiche	26
1.1	Motivazione dello studio	3	6.3	Scelta dei ricettori oggetto di monitoraggio	30
1.2	Struttura metodologica	3	6.4	Censimento e schedatura dei ricettori	33
1.3	Inquadramento del progetto di cantierizzazione nel contesto di riferimento	3	6.5	Screening vibrazionale	34
2	Riferimenti normativi	5	7	Modello previsionale	36
2.1	Premessa	5	7.1	Introduzione	36
2.2	Effetti delle vibrazioni sulle persone all'interno degli edifici	5	7.2	Cenni generali sulla propagazione delle vibrazioni	36
2.2.1	Norma UNI ISO 2631/2	5	7.3	Propagazione tra sorgente e ricettore	36
2.2.2	Norma UNI 9614:2017	6	7.3.1	Attenuazione geometrica del terreno	37
2.3	Effetti delle vibrazioni sugli edifici	8	7.3.2	Attenuazione dovuta al terreno	37
2.3.1	UNI9916	8	7.3.3	Attenuazione dovuta alle discontinuità del terreno	39
2.3.2	DIN4150 e BS7385	8	7.4	Propagazione nelle strutture edilizie	39
2.4	Esposizione delle apparecchiature sensibili alle vibrazioni: ISO/TS 10811-2:2000 "Mechanical vibration and shock – Vibration and shock in buildings with sensitive equipment – Part 2: Classification"	9	7.4.1	Accoppiamento terreno-edificio	39
2.5	Richiami al contesto normativo per quanto riguarda il rumore solido	10	7.4.2	Attenuazione interpiano all'interno degli edifici	40
3	Caratterizzazione del territorio	12		Propagazione delle vibrazioni da piano a piano	40
3.1	Attuali sorgenti di vibrazioni	12		Amplificazione dei solai	41
3.2	Il sistema ricettore interferito dalle lavorazioni	13	7.5	Livelli di rumore solido all'interno degli edifici	41
4	Caratterizzazione geologica e geotecnica	16	8	Previsioni di impatto	44
4.1	Quadro geologico di riferimento	16	8.1	Emissioni di riferimento per lo studio previsionale	44
4.2	Litostratigrafia	17	8.2	Valutazioni previsionali UNI9614:2017	46
4.3	Quadro geotecnico di riferimento	18	8.3	Valutazione previsionale del livello di rumore all'interno degli edifici	47
4.4	Report indagini sismiche	19	9	PGIVC "Piano di gestione dell'impatto vibrazionale di cantiere e Interventi di mitigazione"	48
5	emissioni di vibrazioni in fase di costruzione	22	9.1	Introduzione al PGIVC	48
5.1	Premessa	22	9.2	Interventi di mitigazione	48
5.2	Cantieri Tipo 1 – Intervento nello spartitraffico	22	10	Piano di monitoraggio	49
5.3	Cantieri Tipo 2 – Intervento sulle scarpate laterali	23			
5.4	Cantieri Tipo A – Approvvigionamento, stoccaggio, deposito temporaneo	23			
5.5	Aree Tipo B – Deposito temporaneo	23			
5.6	Cantieri per le opere d'arte	23			
6	Aree di interazione opera-ambiente	26			
6.1	Introduzione	26			



1 PRESENTAZIONE DELLO STUDIO VIBRAZIONALE

1.1 Motivazione dello studio

Scopo del lavoro è di ottemperare alle richieste di integrazione di cui al punto 4.1 della Commissione VIA, al Punto 17 della Regione Veneto e alla Prog. 60 della Regione Emilia Romagna in cui “Si richiede una valutazione previsionale degli eventuali effetti ai ricettori potenzialmente più esposti, almeno per le attività di cantiere ritenute più critiche riguardanti la realizzazione delle opere d’arte”.

Al fine di fornire quanto richiesto in questa relazione viene descritto lo studio previsionale di impatto vibrazionale per la fase di costruzione delle opere in progetto, considerando il quadro di riferimento normativo introdotto dalla UNI 9614:2017.

1.2 Struttura metodologica

Lo studio previsionale di impatto vibrazionale è articolato in 10 macro capitoli descrittivi dell'inquadramento normativo, dello stato iniziale dell'ambiente in termini di sistema insediativo e caratteristiche del sottosuolo influenti sulla propagazione delle vibrazioni, del quadro di riferimento previsionale, quest'ultimo comprensivo della descrizione delle attività rilevanti in termini di emissione di vibrazioni in relazione al contesto in cui sono inseriti i lavori, al modello previsionale e agli esiti delle previsioni di impatto. Alle verifiche di interazione opera-ambiente realizzate per un campione di aree di interazione rappresentative delle condizioni di esposizione più significative segue la descrizione degli interventi di mitigazione attuabili e le informazioni sui punti di controllo da trasferire al Piano di Monitoraggio Ambientale. Ai capitoli descrittivi:

- Riferimenti normativi
- Caratterizzazione del territorio
- Caratterizzazione geologica e geotecnica
- Emissioni di vibrazioni in fase di costruzione
- Aree di interazione opera ambiente
- Modello previsionale
- Previsioni di impatto
- Piano di monitoraggio ambientale
- Interventi di mitigazione
- Punti di controllo per il PMA

sono correlati tre allegati riferiti alle sintesi grafiche e numeriche derivanti dai sopralluoghi alle aree di studio, dalle misure di screening” vibrazionale ante operam e, in ultimo, dalle sintesi di calcolo previsionale:

- ALLEGATO 1: Schede di censimento dei ricettori
- ALLEGATO 2: Schede di monitoraggio di screening
- ALLEGATO 3: Schede di verifica previsionale di impatto in fase di costruzione

Le tecniche e le modalità utilizzate per le previsioni dei livelli vibro-acustici attesi in fase di costruzione, prevedono l'impiego di un modello di previsione empirico e/o analitico-empirico e/o analitico (sistemi esperti) in grado di considerare i complessi fenomeni di propagazione nell'ambiente dei disturbi vibro-acustici. Il disturbo vibro-acustico a carico dei ricettori viene stimato facendolo dipendere da una serie di parametri legati ai seguenti aspetti:

- Tipologia di sorgente.
- Contemporaneità delle lavorazioni
- Caratteristiche geotecniche del terreno.
- Distanza plano-altimetrica tra l'attività o la sorgente e le fondazioni dell'edificio.
- Caratteristiche del sistema fondazionale degli edifici.
- Caratteristiche strutturali degli elementi verticali degli edifici.
- Caratteristiche strutturali degli elementi orizzontali degli edifici

La dipendenza parametrica del disturbo vibro-acustico negli edifici è esaminata in termini spettrali al fine di poter adeguatamente valutare – nel dominio delle frequenze – i meccanismi di propagazione e di attenuazione (o di amplificazione) presenti lungo la catena di trasmissione: dalla sorgente del disturbo - coincidente con la lavorazione responsabile della emissione di vibrazioni – al ricettore attraverso il terreno da attraversare, alle strutture dell'edificio e dei macro ambienti in cui si verificano fenomeni di attenuazione o di amplificazione quali le fondazioni, le strutture verticali portanti, i solai, fino alle curve di ponderazione che mettono in conto la sensibilità fisiologica dell'uomo.

Le tecniche analitiche descritte necessitano di una accurata analisi degli edifici ricettori e l'applicazione delle procedure analitiche nel dominio delle frequenze, che mettono in conto le dipendenze parametriche del disturbo vibro-acustico anzi dette.

1.3 Inquadramento del progetto di cantierizzazione nel contesto di riferimento

Per eseguire i lavori del progetto di ampliamento alla terza corsia dell'Autostrada del Brennero nel tratto compreso tra Verona e l'innesto A1-A22 a Modena sono previsti due tipi di cantieri operativi, caratterizzati da differenti impieghi di mezzi e tempi di lavori:

- Tipo 1 – per l'intervento nello spartitraffico
- Tipo 2 – per l'intervento sulle scarpate laterali (simmetrico o asimmetrico)

Nel tratto compreso tra Verona Nord e l'intersezione con l'A1 è inoltre necessaria la disponibilità di aree di cantiere Tipo A e Tipo B destinate all'accumulo dei materiali che verranno successivamente riutilizzati e per eseguire determinate lavorazioni (selezione, trattamento, ecc.):

- Tipo A - aree cantiere, approvvigionamento, stoccaggio e deposito temporaneo
Area al km 243 in carreggiata Sud (stazione di Nogarole Rocca)
Area al km 278 in carreggiata Nord



Area al km 295 in carreggiata Sud
Area al km 313 in corrispondenza dello svincolo con l'A1

- Tipo B – aree di deposito temporaneo
Area al km 228 in carreggiata Sud (svincolo A4)
Area al km 237 in carreggiata Nord
Area al km 239 in carreggiata Sud
Area al km 253 in carreggiata Nord
Area al km 276 in carreggiata Sud (stazione di Pegognaga)
Area al km 294 in carreggiata Nord
Area al km 309 in carreggiata Sud
Pista tipo di accesso dall'autostrada

In ultimo, per la realizzazione delle opere d'arte sono previsti 15 cantieri specifici ubicati in prossimità dell'opera stessa:

- SOVRAPPASSO "TIPO" L=6.00+1.50 "BINE LUNGHE" [N° 81]
- SOTTOPASSO OBLIQUO L=14.00 PER S.P. DI LUGAGNANO E PONTE SUL CANALE CONAGRO
- SOTTOPASSO SVINCOLO STAZIONE DI VERONA NORD
- SOTTOPASSO F.S. VENEZIA-MILANO E SOTTOPASSO L=7.50+2.00 S.C. CASONA
- SOTTOPASSO A.N.A.S. N° 11
- SOVRAPPASSO S.P. VERONA-SOMMACAMPAGNA [N° 82] E SOVRAPPASSO "PADANA SUPERIORE" CON LA S.S. 12 DELLA CISA [N° 83]
- SOTTOPASSO A.N.A.S. N° 13
- SOTTOPASSO PER L'AUTOSTRADA SERENISSIMA PRESSO DOSSOBUONO E SOTTOPASSI PER LE PISTE DI SVINCOLO
- SOTTOPASSO A.N.A.S. N° 8 (TANGENZIALE)
- SOTTOPASSO F.S. VR-MN A DOSSOBUONO
- PONTE SUL FIUME TARTARO
- PONTE SUL CANALE ACQUE ALTE
- PONTE SUL CANALE DIVERSIVO "FISSERO-TARTARO" E SUL FIUME MINCIO
- PONTE SUL FIUME PO
- SOVRAPPASSI SVINCOLO A1

L'esecuzione dei lavori volti alla realizzazione della terza corsia tra Verona nord e l'intersezione con l'autostrada A1 sarà organizzata in tre distinti lotti funzionali:

- Lotto 1, riguardante il segmento compreso tra il km 312+200 e il km 313+700, centrato sui lavori di riconfigurazione dello snodo di interconnessione A22-A1 e funzionale al collegamento autostradale Campogalliano-Sassuolo;
- Lotto 2, riguardante il segmento A22 tra il km 223+100 e il km 246+185, ricadente in provincia di Verona;

- Lotto 3, avente ad oggetto la porzione di nastro posta tra il km 246+185 e il km 312+200, ricadente nelle province di Mantova, Reggio Emilia e Modena.

Le emissioni di vibrazioni in corso d'opera sono correlate alle lavorazioni distribuite lungo il fronte avanzamento dei lavori Tipo 1 e 2, alle attività svolte presso le aree di cantiere Tipo A e B e dei cantieri destinati alla realizzazione delle opere d'arte. Una ulteriore sorgente di vibrazioni che può rilevarsi localmente significativa è il traffico di cantiere su piste sterrate.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

2.1 Premessa

A differenza del rumore ambientale, regolamentato a livello nazionale dalla Legge Quadro n. 447/95, non esiste al momento alcuna legge che stabilisca limiti quantitativi per l'esposizione alle vibrazioni. Esistono invece numerose norme tecniche, emanate in sede nazionale ed internazionale, che costituiscono un utile riferimento per la valutazione del disturbo e del danno in edifici interessati da fenomeni vibrazionali.

Gli indicatori di disturbo alle vibrazioni di tipo psicofisico, legati alla capacità percettiva dell'uomo, vengono definiti in base alla risposta dell'organismo umano alla sollecitazione vibratoria. La grandezza fisica di interesse per valutare il disturbo alle persone è l'accelerazione e, trattandosi di fenomeni periodici, è necessario fare riferimento al valore efficace RMS.

La determinazione delle leggi di variazione della sensibilità in funzione della frequenza e dei livelli è stata definita in ambito normativo ISO ed ha permesso di elaborare un criterio di valutazione delle vibrazioni che tiene conto dello spettro delle vibrazioni. La norma UNI utilizza invece indicatori globali integrati in tutto l'intervallo di frequenza, a cui si applicano opportune curve di pesatura.

In particolare, per quanto riguarda il disturbo alle persone, i principali riferimenti sono costituiti dalla norma UNI ISO 2631 / Parte 2 "Evaluation of human exposure to whole body vibration / "Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz)" - febbraio 2018; e dalla norma UNI9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo" - settembre 2017.

Per quanto riguarda il danno agli edifici, la norma di riferimento è la UNI9916.

2.2 Effetti delle vibrazioni sulle persone all'interno degli edifici

2.2.1 Norma UNI ISO 2631/2

La norma specifica un metodo per la misura e la valutazione, compresa l'individuazione della direzione e punti di misura, dell'esposizione umana alle vibrazioni al corpo intero all'interno degli edifici per quanto riguarda il comfort ed il disturbo degli occupanti.

Inoltre, essa definisce la ponderazione in frequenza applicabile nell'intervallo di frequenza fra 1 Hz e 80 Hz, nella quale la postura degli occupanti non necessita di essere definita.

La norma nell'edizione del febbraio 2018 è l'adozione nazionale in lingua inglese della norma internazionale ISO 2631-2 (edizione aprile 2003) che assume così lo status di norma nazionale italiana. La norma infatti è stata elaborata sotto la Commissione Tecnica UNI Acustica e vibrazioni che ha giudicato la norma ISO 2631-2 rispondente, da un punto di vista tecnico, alle esigenze nazionali.

L'edizione 2631-2: 2003 cancella e sostituisce la precedente edizione ISO 2631-2: 1989 che è stata rivista al fine di armonizzarla alla norma ISO 2631-1:1997.

La norma specifica che le vibrazioni debbano essere misurate simultaneamente sulle tre direzioni ortogonali, riferite ad un sistema di riferimento solidale con l'edificio piuttosto che con la persona ed inteso coincidente con quello di una persona in piedi.

La grandezza di riferimento per esprimere l'entità della vibrazione misurata in accordo alla ISO 2631-1 è l'accelerazione ponderata in frequenza. Si raccomanda l'impiego della ponderazione in frequenza W_m , in terze d'ottava, calcolata usando la frequenza media, limitazione di banda da 1 Hz a 80 Hz, riportata schematicamente in Figura 1 e in forma tabellare in Tabella 1.

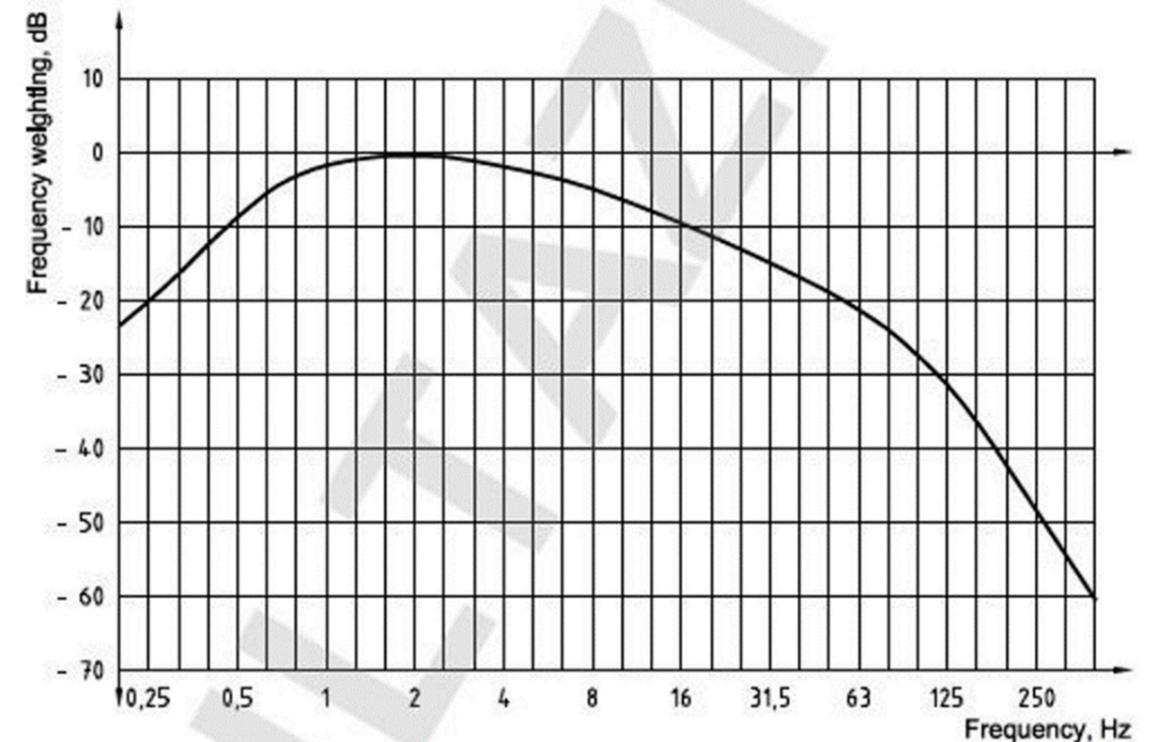


FIGURA 1: CURVA DI PONDERAZIONE IN FREQUENZA W_m

x	Frequency, Hz		W_m Factor	W_m dB
	Nominal	True		
-7	0,2	0,1995	0,0629	-24,02
-6	0,25	0,2512	0,0994	-20,05
-5	0,315	0,3162	0,156	-16,12
-4	0,4	0,3981	0,243	-12,29
-3	0,5	0,5012	0,368	-8,67
-2	0,63	0,6310	0,530	-5,51
-1	0,8	0,7943	0,700	-3,09
0	1	1,000	0,833	-1,59
1	1,25	1,259	0,907	-0,85
2	1,6	1,585	0,934	-0,59
3	2	1,995	0,932	-0,61
4	2,5	2,512	0,910	-0,82
5	3,15	3,162	0,872	-1,19
6	4	3,981	0,818	-1,74
7	5	5,012	0,750	-2,50
8	6,3	6,310	0,669	-3,49
9	8	7,943	0,582	-4,70
10	10	10,00	0,494	-6,12
11	12,5	12,59	0,411	-7,71
12	16	15,85	0,337	-9,44
13	20	19,95	0,274	-11,25
14	25	25,12	0,220	-13,14
15	31,5	31,62	0,176	-15,09
16	40	39,81	0,140	-17,10
17	50	50,12	0,109	-19,23
18	63	63,10	0,0834	-21,58
19	80	79,43	0,0604	-24,38
20	100	100,0	0,0401	-27,93
21	125	125,9	0,0241	-32,37
22	160	158,5	0,0133	-37,55
23	200	199,5	0,00694	-43,18
24	250	251,2	0,00354	-49,02
25	315	316,2	0,00179	-54,95
26	400	398,1	0,000899	-60,92

NOTE x is the frequency band number according to IEC 61260:1995.

TABELLA 1: VALORI DELLA CURVA DI PONDERAZIONE IN FREQUENZA W_m

2.2.2 Norma UNI 9614:2017

La norma (aggiornata al settembre 2017) definisce il metodo di misurazione delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti interne o esterne agli edifici e i criteri di valutazione del disturbo delle persone all'interno degli edifici stessi.

La norma modifica, in modo sostanziale, la versione precedente del 1990 introducendo un approccio innovativo e profondamente diverso nelle modalità di valutazione del disturbo di vibrazione.

La revisione della precedente norma si è resa necessaria per tenere conto di un più moderno approccio alla valutazione del disturbo, dei progressi della strumentazione in uso nonché della evoluzione della normativa internazionale.

Essa fa riferimento alla ISO 2631-2: 2003, prevalentemente per i metodi di misurazione e valutazione, ed alla norma norvegese NS 8176.E.

La norma si applica a tutti i fenomeni che possono dare origine a vibrazioni negli edifici: a titolo esemplificativo e non esaustivo: traffico su gomma e su rotaia, attività industriali e funzionamento di macchinari, attività stradali e di cantiere di varia natura, esplosioni e scoppi, attività umane di qualsiasi natura.

La norma non si applica:

- alle vibrazioni derivanti da eventi sismici ed affini;
- alla valutazione di possibili danni strutturali, architettonici o cosmetici degli edifici, all'esame di problematiche di igiene del lavoro né, infine, alla valutazione di danni a macchinari o strumentazione sensibile;
- alle vibrazioni con frequenza minore del limite di banda inferiore del terzo d'ottava con centro a 1 Hz.

Per quanto attiene le situazioni esistenti o già autorizzate, la presente norma, i valori limite e i metodi in essa indicati non si applicano per i casi in cui la data di pubblicazione della norma è posteriore a:

- l'inizio delle attività della sorgente delle vibrazioni;
- l'autorizzazione formale alla costruzione di sorgenti di vibrazioni o manufatti che partecipano ai fenomeni;
- la data di modifiche di destinazione d'uso degli edifici e delle opere ove ha sede la generazione delle vibrazioni.

La grandezza cinematica scelta per la valutazione del disturbo è l'accelerazione assoluta, per i cui valori è da preferire la notazione in mm/s².

Si deve quindi ricorrere alla misurazione diretta e, quindi, all'impiego di sensori accelerometrici, misurando le vibrazioni simultaneamente lungo le tre direzioni ortogonali e il sistema di riferimento deve essere riferito alla struttura dell'edificio oppure al corpo umano.

Preferibilmente, per assodata convenzione, si utilizzerà l'asse z per la direzione verticale. Si esplicita comunque che l'orientamento del sistema di riferimento non influisce sul risultato delle elaborazioni successive, necessarie per la valutazione del disturbo, che fanno riferimento alla combinazione delle elaborazioni delle accelerazioni assiali.

Gli indicatori diretti di vibrazione vengono correlati nel corso delle misure agli indicatori di emissione (traffico veicolare o ferroviario, incidenza di mezzi pesanti, tipologia di convoglio in transito, velocità di percorrenza, attività di cantiere in fase di svolgimento, ecc.) e alle caratteristiche geolitologiche del sottosuolo desunte da sondaggi, sezioni stratigrafiche, ecc.

Per quanto riguarda l'elaborazione delle misure ed il calcolo dei parametri di disturbo, viene indicato un metodo di calcolo valido per tutti i tipi di sorgente e adeguato a coprire fenomeni di media e breve durata sia fenomeni impulsivi caratterizzati da un fattore di cresta molto elevato.

Nello specifico per il disturbo alle persone, in base a quanto definito dalla UNI 9614/2017, il parametro di controllo previsto è la Massima accelerazione ponderata della sorgente (V_{sor}) definita come segue:

$$V_{sor} = \sqrt{(V_{imm}^2 - V_{res}^2)}$$

In cui:

V_{imm} = accelerazione ponderata massima statistica delle vibrazioni immesse;

V_{res} = accelerazione ponderata massima statistica delle vibrazioni residue.

L'accelerazione ponderata massima statistica è calcolata a partire dalle singole accelerazioni ponderate efficaci ottenute mediante lo schema di calcolo riportato in Figura 1.

L'accelerazione misurata sui tre assi deve essere filtrata con un filtro passa banda (band-limiting) per la risposta del corpo umano al disturbo e successivamente con il filtro di ponderazione W_m . La risposta in frequenza della catena di misura, comprensiva dell'acquisizione, lineare da 0,5 Hz a 250 Hz.

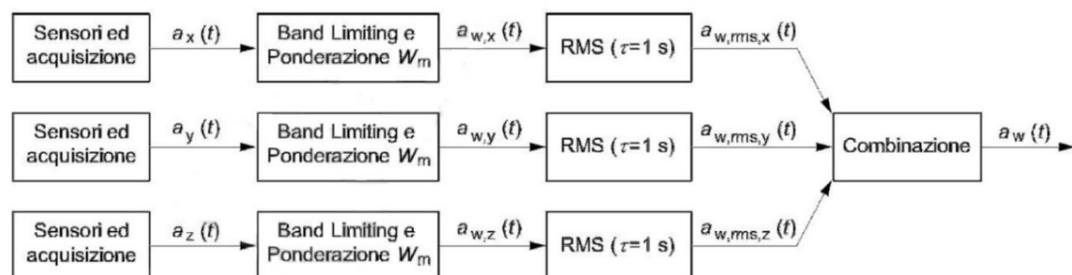


FIGURA 1: SCHEMA DEL CALCOLO DELLA ACCELERAZIONE PONDERATA EFFICACE (NORMA UNI9614:2017)

La massima accelerazione ponderata è calcolata come valore massimo registrato all'interno del singolo j-esimo evento secondo la formula:

$$a_{w,max,j} = \max(a_w(t))$$

Il calcolo della massima accelerazione statica $a_{w,95}$ si ottiene tramite la seguente formula:

$$a_{w,95} = \overline{a_{w,max}} + 1.8 \times \sigma$$

In cui

$$\overline{a_{w,max}} = \frac{\sum_{j=1}^N a_{w,max,j}}{N}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (a_{w,max,j} - \overline{a_{w,max}})^2}{N - 1}}$$

Al fine del calcolo della massima accelerazione statistica $a_{w,95}$ è fondamentale la definizione di "evento", di cui si richiede in generale l'acquisizione e considerazione di almeno 15 eventi (transiti, eventi di cantiere, ecc.).

Per quanto riguarda la valutazione del disturbo generato da una specifica sorgente deve essere effettuato confrontando il parametro descrittore della vibrazione della sorgente V_{sor} con i limiti di riferimento riportati in Tabella 2, in funzione dei diversi tipi di ambiente e per i diversi periodi della giornata.

Il periodo diurno riguarda l'arco di tempo dalle ore 6 alle ore 22 mentre il periodo notturno dalle ore 22 alle ore 6.

DESTINAZIONE D'USO	V_{SOR} [mm/s ²]
Ambienti ad uso abitativo (periodo diurno)	7.2
Ambienti ad uso abitativo (periodo notturno)	3.6
Ambienti ad uso abitativo (periodo diurno di giornate festive)	5.4
Luoghi lavorativi	14.0
Ospedali, case di cura ed affini	2.0
Asili e case di riposo	3.6
Scuole	5.4

TABELLA 2: LIMITI UNI 9614 PER LA MASSIMA ACCELERAZIONE PONDERATA DELLA SORGENTE V_{SOR}

La UNI9614:2017 evidenzia che deroghe ai limiti di riferimento indicati dalla norma possono essere concesse nel caso di attività temporanee o attività per le quali non sono implementabili adeguate misure mitigative o le stesse non sono economicamente fattibili in relazione alla breve durata del disagio provocato, come è il caso delle attività di cantiere. La definizione dei limiti in deroga per queste attività è tuttavia operazione molto complessa e comunque discutibile. La norma suggerisce che le vibrazioni di cantiere dovrebbero essere contenute in modo da evitare danni alle strutture più prossime e, con riferimento al disturbo alle persone, rispettare il riposo.

La norma inoltre suggerisce ad un Ente pubblico o ad un qualsiasi ente appaltante, nell'ambito degli oneri a carico dell'impresa, qualora si ritenga che le lavorazioni previste possano essere fonte di disturbo vibrazionale, non tanto di porre vincoli alle lavorazioni, ma di chiedere il PGIVC "Piano di gestione dell'impatto vibrazionale di cantiere" e di verificarne la completezza. Il testo può anche comparire all'interno delle linee guida per la redazione del Piano di Gestione Ambientale di cantiere.

Il PGIVC dovrà contenere almeno le finalità, il censimento dei ricettori, le lavorazioni, le attività informative preventive, i monitoraggi, le mitigazioni e i controlli.

2.3 Effetti delle vibrazioni sugli edifici

2.3.1 UNI9916

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 e in cui viene richiamata, sebbene non faccia parte integrante della norma, la DIN 4150, parte 3.

Nel mese di gennaio 2014 è stata pubblicata la norma UNI9916:2014 in revisione della norma UNI9916:2004 e UNI9916:1991. La norma già nella versione del 1991 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.

Già nella revisione del 2004 la norma si ampliava in taluni aspetti descrittivi ed informativi relativi alle caratteristiche generali del fenomeno vibratorio, alle caratteristiche degli edifici rilevanti ai fini della valutazione della risposta, alla misurazione delle vibrazioni e al trattamento dei dati.

Era stata invece rimossa l'Appendice relativa alla classificazione degli edifici secondo la resistenza meccanica alle vibrazioni, che teneva conto di fattori quali il tipo di costruzione, il tipo di fondazione, il tipo di terreno, ecc. L'appendice non costituiva in realtà parte integrante della norma, ma aveva carattere informativo.

Nella norma vengono riportati, a titolo indicativo, gli intervalli di frequenza caratteristici delle sorgenti di vibrazioni (Tabella 3).

Sorgente di vibrazioni	Gamma di frequenza [Hz]
Traffico (su strada e su rotaia)	Da 1 a 300
Esplosioni	Da 1 a 300
Battitura di pali	Da 1 a 100
Demolizioni (caduta edificio)	Da 1 a 20
Macchine esterne all'edificio	Da 1 a 300
Macchine interne all'edificio	Da 1 a 300
Attività umane (movimento di persone all'interno dell'edificio)	Da 0,1 a 100
Vento	Da 0,1 a 5

TABELLA 3: INTERVALLI DI FREQUENZA CARATTERISTICI DELLE SORGENTI DI VIBRAZIONE (UNI9916: 2014)

Ai fini della valutazione della possibilità di danno architettonico la revisione del 2014 raccomanda nei casi generali di fare riferimento alla DIN 4150 parte 3. In alternativa si sottolinea l'eventualità di utilizzare anche altre norme quali le norme BS 7385-2, BS 5228-4 e SN 640312, purché venga documentata e motivata la loro adozione.

L'aggiornamento del 2014 tuttavia riporta solo i valori della DIN4150, mentre la revisione del 2004 contiene un'ampia appendice con le diverse norme.

2.3.2 DIN4150 e BS7385

La DIN 4150 e la BS 7385 fanno riferimento alla "peak component particle velocity", cioè al picco nel tempo della singola componente di velocità, p.c.p.v., definita come il valore massimo del modulo di una delle tre componenti ortogonali misurate simultaneamente in un punto o ottenute mediante integrazione.

Nei casi in cui il valore di riferimento fornito dalle norme, con il quale la p.c.p.v. deve essere confrontata, varia con la frequenza, si rende necessaria l'individuazione delle frequenze dominanti.

I valori di riferimento indicati in Tabella 4 e in Tabella 5 rispettivamente per le vibrazioni di breve durata e per le vibrazioni permanenti sono quelli al di sotto dei quali, salvo casi particolari, è ragionevole presumere che non vi sia danno; il superamento degli stessi non implica necessariamente il verificarsi del danno, ma un segnale della necessità di analisi più approfondite.

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v in mm/s			
		Fondazioni			Piano alto
		Da 1 Hz fino a 10 Hz	Da 10 Hz fino a 50 Hz	Da 50 Hz fino a 100 Hz ^{*)}	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ($f=10$ Hz) fino a 40 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 40 ($f=50$ Hz) fino a 50 ($f=100$ Hz)	40
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ($f=10$ Hz) fino a 15 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 15 ($f=50$ Hz) fino a 20 ($f=100$ Hz)	15
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ($f=10$ Hz) fino a 8 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 8 ($f=50$ Hz) fino a 10 ($f=100$ Hz)	8

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

TABELLA 4: VELOCITÀ DI RIFERIMENTO PER VIBRAZIONI DI BREVE DURATA (DIN 4150)

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s (per tutte le frequenze)
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	10
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	2,5

TABELLA 5: VELOCITÀ DI RIFERIMENTO PER LE COMPONENTI ORIZZONTALI DELLE VIBRAZIONI PERMANENTI (DIN 4150)

La norma DIN 4150 considera tre classi di edifici (edifici industriali e simili, edifici residenziali e simili, altri edifici non industriali né residenziali da tutelare) e prevede la misurazione ed il controllo del livello di vibrazione sia in fondazione (per tutte e tre le componenti) che ai piani superiori, con particolare riferimento al piano più elevato per la componente orizzontale. Tali misurazioni forniscono un quadro della risposta globale dell'edificio; sono inoltre necessarie misurazioni relative alla risposta dei solai ai singoli piani, che possono essere limitate alla misurazione della componente verticale della velocità, registrata al centro del solaio. I valori di riferimento sono distinti per vibrazioni di breve durata (cioè tali da escludere problemi di fatica e amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata) e per vibrazioni permanenti.

Tali valori sono indicati per le misurazioni in fondazione e per la componente orizzontale della velocità ai piani superiori, con particolare riferimento al piano più elevato, mentre per la componente verticale dei singoli solai è suggerito un valore di 20 mm/s indipendentemente dal contenuto in frequenza per le vibrazioni di breve durata e di 10 mm/s per le vibrazioni permanenti limitatamente alle prime due classi.

La norma BS 7385 tratta solo il caso di vibrazioni trasmesse dal terreno, i valori di riferimento sono relativi a misurazioni in fondazione e applicabili solo ad edifici bassi (fino a 3 piani).

La norma BS 5228 riguarda il controllo delle vibrazioni nel caso di battitura di pali e ha come grandezza di riferimento la "peak particle velocity", cioè il picco nel tempo del modulo del vettore velocità, p.p.v., così come definito nella norma UNI9916. La norma prescrive anche la misurazione delle vibrazioni ai piani alti dell'edificio.

La norma SN 640312 riguarda le vibrazioni provocate nelle costruzioni dalle attività di macchine di cantiere, dal traffico su strada e ferroviario e dallo scoppio delle mine e considera come grandezza di riferimento la "peak particle velocity". I valori di riferimento sono forniti in funzione della frequenza dominante della vibrazione, determinata dall'analisi spettrale della componente del vettore velocità con ampiezza maggiore.

I dati di riferimento delle norme indicate sono espressi in termini di velocità vibratoria ed è quindi necessario, in caso di utilizzo di accelerometri, ricondurre le misure effettuate a questa grandezza cinematica mediante integrazione. Nella norma è inserita un'Appendice informativa sui problemi legati alla determinazione della velocità e suggerita una possibile procedura per il rilievo e l'analisi di vibrazioni:

- Misurazione dell'accelerazione lungo i tre assi ortogonali.
- Integrazione delle componenti di accelerazione.
- Analisi spettrale della componente di velocità che risulta più severa in termini di ampiezza massima.
- Confronto dei valori di picco della velocità con i valori di riferimento, tenendo conto delle componenti in frequenza dominanti evidenziate dall'analisi spettrale.
- Se la differenza fra i due valori (di riferimento e misurato) è di almeno 10 dB, l'indagine si può ritenere conclusa. Altrimenti si procederà nel modo seguente:
- Analisi spettrale di ciascuna componente di velocità.
- Calcolo, per ogni istante, del modulo della somma vettoriale delle tre componenti di velocità e confronto con i valori di riferimento (BS 5228-4).

In alternativa si effettua il confronto, componente per componente, dei valori di picco della velocità con i valori di riferimento (DIN 4150 o BS 7385).

2.4 Esposizione delle apparecchiature sensibili alle vibrazioni: ISO/TS 10811-2:2000 "Mechanical vibration and shock – Vibration and shock in buildings with sensitive equipment – Part 2: Classification"

Le norme ISO 10811-1 e ISO 10811-2 descrivono le modalità di misura, valutazione e classificazione delle vibrazioni e degli urti a carico di edifici che accolgono equipaggiamenti sensibili.

In particolare, la norma ISO/TS 10811-1 definisce un metodo per la classificazione degli urti e delle vibrazioni negli edifici a partire da misure. Il sistema di classificazione delle condizioni di vibrazioni ambientali rappresenta una linea guida per i progettisti, costruttori e utilizzatori di attrezzature sensibili agli urti e alle vibrazioni, e per i costruttori di immobili.

Vengono considerati gli urti e le vibrazioni che, da solai, tavoli, pareti, soffitti o dai sistemi di smorzamento, ecc., vengono trasmessi ad una attrezzatura sensibile. Le sorgenti possono essere classificate in tre tipologie:

- sorgenti esterne, ad esempio il traffico stradale, ferroviario o aereo, i lavori di costruzione (realizzazione pali di fondazione, demolizioni, ecc.);
- attrezzature e macchine per uso industriale collocate all'interno degli edifici, come ad esempio presse, martelli, attrezzature rotanti, movimentazione carroporti, ecc;
- attività umane correlate all'utilizzo delle attrezzature sensibili, come ad esempio il calpestio su pavimenti, in particolare quelli galleggianti.

Il campo di frequenze di interesse è compreso tra 2 Hz e 200 Hz, anche se normalmente le frequenze dominanti si collocano al di sotto dei 100 Hz perché rappresentano la risposta dell'edificio alle sollecitazioni dinamiche.

I criteri di velocità vibrazionale massima ammissibile per la strumentazione di precisione sono basati sul riconoscimento dei singoli eventi disturbanti determinati dalla singola sorgente. Questo è giustificato dal fatto che è molto poco probabile che due eventi di differente origine, anche se generati nello stesso istante temporale, possano essere coerenti in fase e quindi considerati additivi.

Generalmente i manuali operativi delle case costruttrici contengono informazioni dettagliate in merito ai livelli massimi ammissibili di vibrazione.

In assenza di informazioni più dettagliate la tabella e la Figura seguenti forniscono gli orientamenti in merito ai criteri di protezione da applicare alle apparecchiature sensibili.

Le curve VC (Vibration Criteria) sono ampiamente utilizzate nelle aziende nel campo della microelettronica e attività simili. Le curve hanno un campo di velocità costante (in termini di valore r.m.s. in terze di ottava) da 8 Hz a 100 Hz. Al di sotto di 8 Hz le curve VC forniscono un valore di velocità costante.

I numeri contenuti in Tabella sono applicabili per il campo frequenza in cui la velocità è costante. In accordo con la ISO/TS 10811-1 la velocità di picco corrispondente può essere stimata per forme d'onda sinusoidali e per vibrazioni casuali. In questo ultimo caso la stima è fornita per un tempo di esposizione di 10 minuti ed è riferita a due frequenze di terze d'ottava, la prima a 8 Hz e la seconda a 100 Hz.

Le classi di strumentazioni/apparecchiature sensibili associate alle curve A, B, C, D ed E, ordinate per sensibilità decrescente, considerano valori di velocità di picco ammissibile fino a 50 $\mu\text{m/s}$ per microscopi ottici, bilance di precisione, bilance ottiche, ecc (curva A) e valori minimi pari a 3 $\mu\text{m/s}$ per i sistemi che richiedono una straordinaria stabilità dinamica, come ad esempio i sistemi di puntamento laser per le grandi distanze (Curva E).

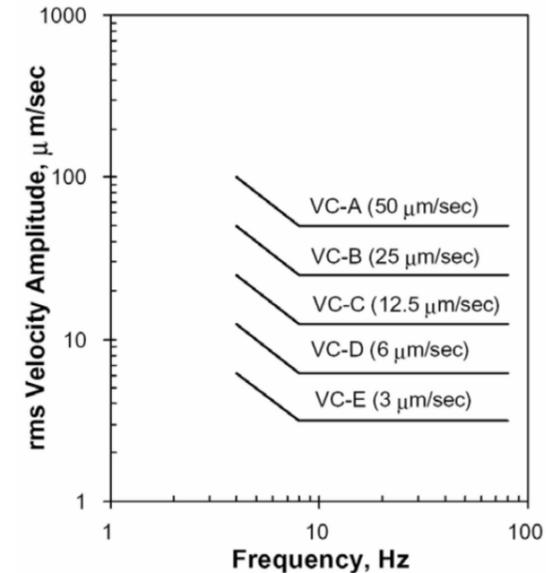


FIGURA 2: CURVE LIMITE PER VELOCITÀ DI PICCO

VC curve	R.m.s. velocity $\mu\text{m/s}$	Peak velocity for sine waves mm/s	Peak velocity for random vibration (10 min) mm/s	
			8 Hz	100 Hz
A	50	0,071	0,22	0,25
B	25	0,035	0,11	0,12
C	12,5	0,018	0,056	0,062
D	6	0,0085	0,027	0,030
E	3	0,0042	0,013	0,015

TABELLA 6: VELOCITÀ DI PICCO PER CURVE LIMITE

2.5 Richiami al contesto normativo per quanto riguarda il rumore solido

In Italia sono da anni in vigore specifici provvedimenti legislativi destinati ad affrontare il problema dell'inquinamento acustico nell'ambiente esterno. La disciplina in materia di lotta contro il rumore precedentemente al 1991 era affidata ad una serie eterogenea di norme a carattere generale, che tuttavia non erano accompagnate da una normativa tecnica che consentisse di applicare concretamente le prescrizioni stesse. Con il DPCM 1 Marzo 1991 il Ministero dell'Ambiente, di concerto con il Ministero della Sanità, ha predisposto uno strumento legislativo che disciplina il rumore e sottopone a controllo l'inquinamento acustico, in attuazione del DPR 616/1977 e della Legge 833/1978.

Successivamente a questo DPCM sono state emesse ulteriori norme che hanno ulteriormente completato il quadro normativo, in particolare la Legge Quadro sull'inquinamento acustico (Legge n. 447 del 26 ottobre 1995) e il DCPM 14 novembre 1997.

La Legge n° 447 del 26/10/1995 "Legge Quadro sull'inquinamento acustico", pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n° 254 del 30/10/1995, è una legge di principi e demanda perciò a successivi strumenti attuativi la puntuale definizione sia dei parametri sia delle norme tecniche. Un aspetto innovativo della Legge Quadro è l'introduzione all'Art. 2, accanto ai valori limite, dei valori di attenzione e dei valori di qualità. Nell'Art. 4 si indica che i comuni "procedono alla classificazione del proprio territorio nelle zone previste dalle vigenti disposizioni per l'applicazione dei valori di qualità di cui all'Art. 2, comma 1, lettera h". La Legge stabilisce inoltre che le Regioni, entro un anno dall'entrata in vigore, devono definire i criteri di zonizzazione acustica del territorio comunale fissando il divieto di contatto diretto di aree, anche appartenenti a comuni confinanti, quando i valori di qualità si discostano in misura superiore a 5 dBA.



L'adozione della zonizzazione acustica è il primo passo concreto con il quale il Comune esprime le proprie scelte in relazione alla qualità acustica da preservare o da raggiungere nelle differenti porzioni del territorio comunale e altresì il momento che presuppone la tempestiva attivazione delle funzioni pianificatorie, di programmazione, di regolamentazione, autorizzatorie, ordinatorie, sanzionatorie e di controllo nel campo del rumore indicate dalla Legge Quadro.

Il DPCM 14 novembre 1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore" integra le indicazioni normative in tema di disturbo da rumore espresse dal DPCM 1 marzo 1991 e dalla successiva Legge Quadro n° 447 del 26 ottobre 1995 e introduce il concetto dei valori limite di emissione, nello spirito di armonizzare i provvedimenti in materia di limitazione delle emissioni sonore alle indicazioni fornite dall'Unione Europea. Il decreto determina i valori limite di emissione, i valori limite di immissione, i valori di attenzione ed i valori di qualità, riferendoli alle classi di destinazione d'uso del territorio, riportate nella Tabella A dello stesso decreto e che corrispondono sostanzialmente alle classi previste dal DPCM 1 marzo 1991.

Inoltre, si esplicitano i valori limite differenziali di immissione, che sono 5 dB per il periodo diurno e 3 dB per il periodo notturno, all'interno degli ambienti abitativi. Tali valori non si applicano nelle aree in Classe VI.

Tali disposizioni non si applicano nei seguenti casi: se il rumore misurato a finestre aperte è inferiore a 50 dBA durante il periodo diurno e 40 dBA durante il periodo notturno; se il rumore ambientale misurato a finestre chiuse è inferiore a 35 dBA durante il periodo diurno e 25 dBA durante il periodo notturno (scenario di riferimento per il rumore solido prodotto dalle sorgenti di vibrazioni in fase di costruzione).

3 CARATTERIZZAZIONE DEL TERRITORIO

3.1 Attuali sorgenti di vibrazioni

In presenza di terreni granulosi, quali depositi ghiaiosi, ghiaie con sabbie, sabbie limose, ciottoli, la distanza di potenziale impatto di una sorgente di vibrazioni a carattere cantieristico sull'uomo, esposto in campo aperto o che svolge attività all'interno di un edificio, può essere compresa nella fascia 0-50 m anche se, per le costruzioni, un ruolo non trascurabile gioca la tipologia di fondazione dell'immobile (fondazioni a secco, plinti, pali, platea in ca...) e la natura e le dimensioni delle strutture portanti che rappresentano veicolo di propagazione (murature ed elementi verticali portanti, orizzontamenti...). In casi eccezionali (terreni di tipo roccioso) o comunque quando si è interessati a verificare anche eventuali effetti secondari, la suddetta fascia può essere estesa.

Per individuare le attuali potenziali sorgenti di vibrazioni localizzate sul territorio interessato dalle opere di ampliamento alla terza corsia dell'Autostrada del Brennero A22 è necessario considerare l'ambito spaziale interferito dalla cantierizzazione, ossia dai Fronti di Avanzamento Lavori (FAL) secondo le tipologie di intervento previste (Laterale Simmetrico, Laterale Asimmetrico, Centrale) e dai cantieri su cui saranno poste in atto lavorazioni con emissioni di vibrazioni significative.

Cautelativamente tale ambito di indagine è stato esteso ad una fascia pari a 100 m di distanza dai perimetri dei cantieri e dalle linee di avanzamento dei FAL.

All'interno dell'ambito di studio sono presenti numerose infrastrutture stradali e ferroviarie. Le sorgenti vibrazionali più significative sono indubbiamente quelle ferroviarie, mentre generalmente le viabilità non sono da considerarsi sorgenti significative di vibrazioni, in condizioni ordinarie di manutenzione del manto stradale e dei giunti di dilatazione dei viadotti. È infatti la presenza di ammaloramenti nello strato d'usura delle pavimentazioni che spesso determina emissioni vibrazionali significative, condizioni riscontrabili essenzialmente sulle strade statali, provinciali e sulle viabilità minori.

In **Tabella 7** (Emilia-Romagna), **Tabella 8** (Lombardia) e **Tabella 9** (Veneto) sono riportate le infrastrutture potenziali sorgenti di vibrazioni, con riferimento alla progressiva rispetto alla A22, la località e la descrizione.

In particolare, sono stati identificati:

- n° 34 infrastrutture stradali importanti in sovrappasso, sottopasso, affiancamento A22
- n° 6 linee FS (di cui una AV)

L'Autostrada del Brennero A22, la cui pavimentazione e viadotti sono soggetti a regolare manutenzione ordinaria da parte del gestore, non rientra tra le sorgenti di vibrazioni.

Infine, la verifica di campo effettuata nelle date 12/13 giugno e 19/20 giugno 2023, non ha evidenziato la presenza nella fascia dei 100 m di attività antropiche collegate alla

produzione, industria, agricoltura che potessero rappresentare sorgenti significative di vibrazioni.

LOCALIZZAZIONE (LOMBARDIA, REGGIO EMILIA)		INFRASTRUTTURA
Progressiva	Località	Descrizione
285+180	Reggiolo (RE)	SP 43 in sottopasso alla A22
285+830	Reggiolo (RE)	Linea FS Verona-Modena
287+230	Rolo (RE)	SP 44 in sovrappasso alla A22
289+770	Rolo (RE)	SP 4 in sovrappasso alla A22
297+930	Budrione di Carpi (MO)	SP 1 in sovrappasso alla A22
302+160	Santa Croce di Carpi (MO)	SP 468R in sovrappasso alla A22
307+300	Panzano Campogalliano (MO)	SP 13 in sovrappasso alla A22
310+500	Campogalliano (MO)	SP 13 in sovrappasso alla A22
312+300	Campogalliano (MO)	Linea FS AV Milano-Bologna

TABELLA 7: LOCALIZZAZIONE INFRASTRUTTURE – EMILIA ROMAGNA

LOCALIZZAZIONE (LOMBARDIA)		INFRASTRUTTURA
Progressiva	Località	Descrizione
247+020	San Giorgio Bigarello (MN)	Strada Mandrago in sovrappasso alla A22
248+880	San Giorgio Bigarello (MN)	SP 249 in sovrappasso alla A22
251+970	San Giorgio Bigarello (MN)	Via Villanova Maiardina in sovrappasso alla A22
253+570	San Giorgio Bigarello (MN)	SP 25 in sovrappasso alla A22
254+400	San Giorgio Bigarello (MN)	Via Caselle in sovrappasso alla A22
255+860	Mottella (MN)	SP 10 in sovrappasso alla A22
256+760	Mottella (MN)	Linea FS Mantova-Monselice
257+880	Villanova De Bellis (MN)	SP 30 in sovrappasso alla A22
260+590	Valdaro (MN)	SP 482 in sovrappasso alla A22
264+650	San Biagio (MN)	SP 413 in sovrappasso alla A22
269+360	San Nicolò (MN)	SP 54 in sottopasso alla A22
270+200	San Benedetto Po (MN)	SP 53 in sottopasso alla A22
275+620	Pegognaga (MN)	Linea FS Suzzara-Ferrara
275+710	Pegognaga (MN)	SP 52 in sottopasso alla A22
276+250	Pegognaga (MN)	SP 42 in sovrappasso alla A22
276+980	Pegognaga (MN)	SP 49 in sovrappasso alla A22
282+150	Bondeno di Gonzaga (MN)	SP 50 in sottopasso alla A22

TABELLA 8: LOCALIZZAZIONE INFRASTRUTTURE – LOMBARDIA



LOCALIZZAZIONE (VENETO)		INFRASTRUTTURA
Progressiva	Località	Descrizione
223+100 ÷ 223+470	Lugagnano di Sona (VR)	SS 12 e Strada Bresciana
223+470 ÷ 224+820	Dossobuono (VR)	Affiancamento SS 12 alla A22
224+740	Dossobuono (VR)	Via Beccarie/via Lugagnano in sottopasso alla A22
225+750	Dossobuono (VR)	Linea FS Milano-Venezia
226+600 ÷ 227+370	Dossobuono (VR)	Affiancamento SS 62 alla A22
227+090	Dossobuono (VR)	Via Sommacampagna in sottopasso alla A22
228+720	Dossobuono (VR)	SS 62 in sottopasso alla A22
229+600	Dossobuono (VR)	Via Borgobello in sottopasso alla A22
230+170	Dossobuono (VR)	Linea FS Modena-Verona
232+070	Alpo (VR)	Via Dosdegà in sovrappasso alla A22
234+030	Vigasio (VR)	SP 52 in sovrappasso alla A22
236+040	Vigasio (VR)	SP 24 in sovrappasso alla A22
242+150 ÷ 242+600	Nogarole Rocca (VR)	SP 53 in affiancamento e in sovrappasso alla A22
242+830 ÷ 244+050	Nogarole Rocca (VR)	Via dell'Industria in affiancamento alla A22
244+300	Nogarole Rocca (VR)	SP 3 in sovrappasso alla A22

TABELLA 9: LOCALIZZAZIONE INFRASTRUTTURE – VENETO

3.2 Il sistema ricettore interferito dalle lavorazioni

L'ambito spaziale interferito dalla cantierizzazione è stato definito in sede di analisi delle attuali sorgenti di vibrazioni nella fascia di potenziale interazione (cfr. par. 3.1) e, cautelativamente, è stato esteso ad una fascia pari a 100 m di distanza dai perimetri dei cantieri e dalle linee di avanzamento dei FAL.

L'analisi cartografica e la verifica di campo (cfr. par. 6.3) ha permesso di evidenziare le seguenti tipologie di edificato potenzialmente interferito dalle lavorazioni:

- edifici residenziali isolati o raggruppati in piccoli nuclei (3/4 unità immobiliari)
- edifici residenziali raggruppati in nuclei isolati (superiore a 3/4 unità immobiliari)
- edifici residenziali con dipendenze agricole (magazzini, tettoie ricovero, stalle...)
- nuclei urbani, edificato residenziale denso
- edifici industriali isolati destinati ad attività produttive, con presenza di uffici
- aree industriali destinate alla produzione, con presenza di uffici
- edifici di pertinenza autostradale

Le caratteristiche degli edifici che rientrano nelle aree oggetto di studio sono le seguenti:

- edifici residenziali con struttura verticale portante in muratura (laterizio, pietre, miste pietre e laterizio), orizzontamenti e copertura in laterocemento oppure in legno con

luce massima di solaio pari a 5 m, generalmente a 1/3 piani fuori terra (fino a 4 piani), con presenza od in assenza di piani interrati.

- Edifici residenziali con struttura verticale portante in cemento armato, orizzontamenti e copertura in laterocemento, generalmente a 2/3 piani fuori terra (fino a 4 piani), con presenza od in assenza di piani interrati.
- Palazzine condominiali con struttura verticale portante in cemento armato, orizzontamenti e copertura in laterocemento, generalmente a 4/5 piani fuori terra, sempre con presenza di piani interrati destinati a cantine e a box.
- Edifici industriali realizzati come capannoni, in cemento armato e tamponatura in lastre prefabbricate in cemento alleggerito, generalmente con copertura piana e finestroni a nastro, a 1/2 piani fuori terra con altezza interpiano pari a 4 m (in genere nelle parti dedicate agli uffici o 8 m).

La tipologia di fondazione è generalmente di tipo diretto (plinti o travi rovesce) o, per gli edifici industriali, a platea.

Lo stato di conservazione degli immobili è prevalentemente classificabile come buono, talvolta medio a causa dello stato di usura degli intonaci e dei serramenti anche se, in alcuni casi, sono riscontrabili fessurazioni che si sono formate generalmente durante l'esecuzione di lavori importanti quali la realizzazione di cavalcavia prossimi agli edifici.

Nella **Tabella 10** (Veneto), **Tabella 11** (Lombardia), **Tabella 12** e **Tabella 13** (Emilia-Romagna) sono riportati tutti i ricettori che rientrano nella fascia di potenziale interazione, raggruppati secondo le principali tipologie di edificato elencate in questo paragrafo, evidenziando la posizione mediante progressiva e indicando la località ed il tipo di edificato presente.

La progressiva si riduce ad un punto baricentrico quando l'area ha dimensioni piccole ed è omogenea, con n° 1 o qualche edificio presente (edifici isolati, edifici appartenenti ad un piccolo nucleo...) oppure è caratterizzata mediante inizio e fine chilometrica.

Complessivamente sono state individuate 132 aree tipologiche, di cui n° 26 nella Regione Veneto, n° 49 in Lombardia e n° 57 in Emilia-Romagna.

Si possono individuare:

- N° 15 aree con ricettore/ricettori isolati
- N° 55 aree con ricettori e dipendenze agricole
- N° 7 aree edificio con industriale isolato e presenza di uffici
- N° 23 aree industriali destinate alla produzione, con presenza di uffici
- N° 4 aree con edificato residenziale denso
- N° 6 aree appartenenti a nucleo urbano
- N° 4 aree con edificio/edifici residenziali raggruppati in nuclei isolati
- N° 7 aree con edificio/edifici residenziali raggruppati in piccoli nuclei
- N° 11 altre situazioni



LOCALIZZAZIONE (VENETO)				TIPOLOGIA DI EDIFICATO
N°	Progressiva	Lato in direzione	Località	Descrizione
1	223+970	svincolo A1	Lugagnano di Sona (VR)	edificio residenziale con dipendenze agricole
2	224+180	Verona	Lugagnano di Sona (VR)	edificio residenziale isolato
3	224+300	svincolo A1	Lugagnano di Sona (VR)	edificio residenziale con dipendenze agricole
4	224+570 ÷ 224+830	svincolo A1	Lugagnano di Sona (VR)	edifici residenziali isolati
5	224+990 ÷ 225+160	Verona	Lugagnano di Sona (VR)	edifici di pertinenza autostradale
6	225+580	svincolo A1	Lugagnano di Sona (VR)	edificio residenziale isolato
7	225+740	Verona	Lugagnano di Sona (VR)	edificio industriale isolato destinato ad attività produttive, con presenza di uffici
8	229+120 ÷ 229+330	svincolo A1	Dossobuono (VR)	edificato residenziale denso
9	229+310 ÷ 229+710	Verona	Dossobuono (VR)	nucleo urbano (Dossobuono)
10	229+360 ÷ 230+180	svincolo A1	Dossobuono (VR)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
11	230+710	Verona	Dossobuono (VR)	edificio residenziale isolato
12	231+780 ÷ 231+900	svincolo A1	Alpo (VR)	edificato residenziale denso
13	231+740 ÷ 231+790	Verona	Alpo (VR)	edificato residenziale denso
14	232+270	svincolo A1	Alpo (VR)	edificio residenziale isolato
15	232+970	Verona	Alpo (VR)	edificio residenziale con dipendenze agricole
16	233+890 ÷ 234+090	Verona	Vigasio (VR)	edifici residenziali con dipendenze agricole
17	236+610	Verona	Vigasio (VR)	edificio residenziale con dipendenze agricole
18	237+790 ÷ 238+560	svincolo A1	Vigasio (VR)	edifici residenziali con dipendenze agricole
19	238+230	Verona	Vigasio (VR)	edificio industriale isolato destinato ad attività produttive, con presenza di uffici
20	240+130 ÷ 240+680	Verona	Vigasio (VR)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
21	242+380	Verona	Vigasio (VR)	edificio residenziale con dipendenze agricole
22	240+730 ÷ 240+830	svincolo A1	Vigasio (VR)	edificato residenziale denso
23	240+860 ÷ 241+410	svincolo A1	Vigasio (VR)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
24	244+180	svincolo A1	Nogarole Rocca (VR)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
25	244+180	Verona	Nogarole Rocca (VR)	edificio residenziale con dipendenze agricole
26	244+830 ÷ 245+580	svincolo A1	Nogarole Rocca (VR)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici

TABELLA 10: TIPOLOGIA DI EDIFICATO PRESENTE- VENETO

LOCALIZZAZIONE (LOMBARDIA)				TIPOLOGIA DI EDIFICATO
N°	Progressiva	Lato in direzione	Località	Descrizione
27	249+940	Verona	San Giorgio Bigarello (MN)	edificio industriale isolato destinato ad attività produttive, con presenza di uffici
28	251+890	Verona	San Giorgio Bigarello (MN)	edificio residenziale con dipendenze agricole
29	251+970	svincolo A1	San Giorgio Bigarello (MN)	edificio residenziale con dipendenze agricole
30	253+510	svincolo A1	San Giorgio Bigarello (MN)	Società agricola cooperativa CO.MA.L.
31	254+275	Verona	San Giorgio Bigarello (MN)	edifici residenziali raggruppati in nucleo isolato
32	255+560 ÷ 255+770	svincolo A1	Mottella (MN)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
33	255+790	Verona	Mottella (MN)	edifici residenziali raggruppati in piccolo nucleo
34	255+960	Verona	Mottella (MN)	edificio residenziale con dipendenze agricole
35	256+360 ÷ 257+510	svincolo A1	Mottella (MN)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
36	257+510 ÷ 257+700	svincolo A1	Mottella (MN)	edificio residenziale con dipendenze agricole
37	258+100	Verona	Villanova De Bellis (MN)	edificio industriale isolato destinato ad attività produttive, con presenza di uffici
38	258+600	Verona	Villanova De Bellis (MN)	edifici residenziali raggruppati in piccolo nucleo
39	258+600	svincolo A1	Villanova De Bellis (MN)	edifici residenziali raggruppati in nucleo isolato
40	258+850 ÷ 259+130	svincolo A1	Villanova De Bellis (MN)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
41	259+280	svincolo A1	Villanova De Bellis (MN)	edifici residenziali con dipendenze agricole
42	259+920	Verona	Valdaro (MN)	edificio residenziale con dipendenze agricole
43	259+980 ÷ 260+360	svincolo A1	Valdaro (MN)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
44	260+470	Verona	Valdaro (MN)	edificio residenziale isolato
45	260+590 ÷ 261+670	svincolo A1	Valdaro (MN)	edifici residenziali raggruppati in nuclei isolati
46	261+900	svincolo A1	Formigosa di Mantova (MN)	edificio residenziale isolato
47	262+450	svincolo A1	Formigosa di Mantova (MN)	edificio residenziale isolato
48	263+000 ÷ 263+120	Verona	Valdaro (MN)	edifici residenziali con dipendenze agricole
49	265+520	Verona	San Biagio (MN)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
50	266+700	svincolo A1	San Biagio (MN)	edifici residenziali con dipendenze agricole
51	270+360	Verona	San Benedetto Po (MN)	edifici residenziali con dipendenze agricole
52	270+430	svincolo A1	San Benedetto Po (MN)	edifici residenziali con dipendenze agricole
53	271+130	Verona	San Benedetto Po (MN)	edificio industriale isolato destinato ad attività produttive, con presenza di uffici
54	271+380	svincolo A1	San Benedetto Po (MN)	edifici residenziali con dipendenze agricole
55	271+380 ÷ 271+760	Verona	San Benedetto Po (MN)	edifici residenziali isolati
56	273+590	svincolo A1	Pegognaga (MN)	edifici residenziali con dipendenze agricole
57	273+590	Verona	Pegognaga (MN)	edifici residenziali con dipendenze agricole
58	274+150	svincolo A1	Pegognaga (MN)	edifici residenziali con dipendenze agricole
59	274+150	Verona	Pegognaga (MN)	edifici residenziali con dipendenze agricole
60	275+600	svincolo A1	Pegognaga (MN)	edificio residenziale con dipendenze agricole
61	275+680÷275+830	svincolo A1	Pegognaga (MN)	edifici residenziali raggruppati in nuclei isolati
62	275+680	Verona	Pegognaga (MN)	edificio residenziale isolato
63	276+300÷276+470	Verona	Pegognaga (MN)	nucleo urbano (Pegognaga)
64	276+330÷276+560	svincolo A1	Pegognaga (MN)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
65	276+750÷276+910	Verona	Pegognaga (MN)	area mista industriale e società cooperativa agricola
66	277+230	svincolo A1	Pegognaga (MN)	edificio industriale isolato destinato ad attività produttive, con presenza di uffici
67	277+530	svincolo A1	Pegognaga (MN)	edificio residenziale con dipendenze agricole
68	278+940	svincolo A1	Bondeno di Gonzaga (MN)	edifici residenziali con dipendenze agricole
69	279+370÷280+190	Verona	Bondeno di Gonzaga (MN)	edifici residenziali con dipendenze agricole
70	280+150	svincolo A1	Bondeno di Gonzaga (MN)	edificio residenziale con dipendenze agricole
71	281+860	Verona	Bondeno di Gonzaga (MN)	edificio residenziale con dipendenze agricole
72	282+240	Verona	Bondeno di Gonzaga (MN)	edificio residenziale con dipendenze agricole
73	282+370	svincolo A1	Bondeno di Gonzaga (MN)	edificio residenziale con dipendenze agricole
74	282+750÷283+250	svincolo A1	Bondeno di Gonzaga (MN)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
75	282+850÷283+440	Verona	Bondeno di Gonzaga (MN)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici

TABELLA 11: TIPOLOGIA DI EDIFICATO PRESENTE - LOMBARDIA



LOCALIZZAZIONE (EMILIA ROMAGNA)				TIPOLOGIA DI EDIFICATO
N°	Progressiva	Lato in direzione	Località	Descrizione
76	284+080	Verona	Reggiolo (RE)	edifici residenziali raggruppati in piccolo nucleo
77	284+120:284+890	svincolo A1	Reggiolo (RE)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
78	285+080:285+520	Verona	Reggiolo (RE)	edifici residenziali con dipendenze agricole raggruppati in nuclei isolati
79	285+130:285+250	svincolo A1	Reggiolo (RE)	edificio residenziale con dipendenze agricole
80	286+280:286+880	svincolo A1	Reggiolo (RE)	edifici residenziali con dipendenze agricole
81	286+850	Verona	Reggiolo (RE)	Agriturismo Dosso al Porto
82	287+270:287+890	svincolo A1	Rolo (RE)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
83	288+070	svincolo A1	Rolo (RE)	edificio residenziale con dipendenze agricole
84	288+100:288+240	Verona	Rolo (RE)	edifici residenziali con dipendenze agricole
85	288+260:289+130	Verona	Rolo (RE)	nucleo urbano (Rolo)
86	289+050	svincolo A1	Rolo (RE)	edificio residenziale con dipendenze agricole
87	289+220:290+270	Verona	Rolo (RE)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
88	289+610:290+340	svincolo A1	Rolo (RE)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
89	290+270:290+460	Verona	Rolo (RE)	edifici residenziali con dipendenze agricole
90	290+690:290+960	svincolo A1	Rolo (RE)	edifici residenziali con dipendenze agricole
91	293+650	Verona	Budrione di Carpi (MO)	edifici residenziali con dipendenze agricole
92	294+010	svincolo A1	Budrione di Carpi (MO)	edifici residenziali con dipendenze agricole
93	295+280	Verona	Budrione di Carpi (MO)	Vitivinicola Fangareggi
94	295+990	Verona	Budrione di Carpi (MO)	edificio residenziale con dipendenze agricole
95	296+330:296+520	Verona	Budrione di Carpi (MO)	nucleo urbano (Budrione di Carpi)
96	296+300:296+480	svincolo A1	Budrione di Carpi (MO)	edifici residenziali con dipendenze agricole
97	296+980:297+120	Verona	Carpi (MO)	edifici residenziali con dipendenze agricole
98	297+030:297+260	Verona	Carpi (MO)	edifici residenziali isolati
99	297+660:297+830	svincolo A1	Carpi (MO)	edifici residenziali con dipendenze agricole
100	297+900:298+090	svincolo A1	Carpi (MO)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
101	298+450:298+750	Verona	Carpi (MO)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
102	298+810	svincolo A1	Carpi (MO)	edifici residenziali in piccolo nucleo
103	298+920	Verona	Carpi (MO)	edifici residenziali isolati
104	298+980:300+580	Verona	Carpi (MO)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
105	299+680:301+530	svincolo A1	Carpi (MO)	edifici residenziali con dipendenze agricole
106	300+640:301+380	Verona	Carpi (MO)	edifici residenziali isolati
107	302+410:302+610	Verona	Santa Croce di Carpi (MO)	nucleo urbano (Santa Croce di Carpi)
108	302+980	svincolo A1	Santa Croce di Carpi (MO)	edificio residenziale con dipendenze agricole
109	302+980	Verona	Santa Croce di Carpi (MO)	edificio residenziale isolato
110	303+270:303+440	svincolo A1	Santa Croce di Carpi (MO)	edifici residenziali isolati, ufficio aziendale NE-TEK
111	303+490	Verona	Santa Croce di Carpi (MO)	edificio residenziale con dipendenze agricole
112	304+180:304+330	svincolo A1	Santa Croce di Carpi (MO)	edifici residenziali isolati e con pertinenze agricole
113	304+240:304+340	Verona	Santa Croce di Carpi (MO)	edifici residenziali in piccolo nucleo
114	305+080:305+800	svincolo A1	Santa Croce di Carpi (MO)	edifici residenziali con dipendenze agricole
115	305+440:305+890	Verona	Santa Croce di Carpi (MO)	edifici residenziali con dipendenze agricole
116	307+210	svincolo A1	Panzano Campogalliano (MO)	edifici residenziali con dipendenze agricole
117	307+210	Verona	Panzano Campogalliano (MO)	edifici residenziali con dipendenze agricole
118	307+610	Verona	Panzano Campogalliano (MO)	edifici residenziali isolati
119	308+400:308+490	svincolo A1	Panzano Campogalliano (MO)	edifici residenziali in piccolo gruppo con dipendenze agricole
120	309+500	Verona	Campogalliano (MO)	Crossodromo Campogalliano
121	309+700:310+500	svincolo A1	Campogalliano (MO)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
122	310+120	Verona	Campogalliano (MO)	Pet Therapy

TABELLA 12: TIPOLOGIA DI EDIFICATO PRESENTE – EMILIA-ROMAGNA

LOCALIZZAZIONE (EMILIA ROMAGNA)				TIPOLOGIA DI EDIFICATO
N°	Progressiva	Lato in direzione	Località	Descrizione
123	310+170	Verona	Campogalliano (MO)	edificio industriale destinato ad attività produttive, con presenza di uffici
124	310+590:310+810	svincolo A1	Campogalliano (MO)	nucleo urbano (Campogalliano)
125	310+500:311+250	Verona	Campogalliano (MO)	area mista industriale e di servizi (Osteria Emilia, Best Western Hotel)
126	311+330	svincolo A1	Campogalliano (MO)	edifici residenziali in piccolo nucleo
127	311+330	Verona	Campogalliano (MO)	edifici residenziali in piccolo nucleo
128	311+330:312+110	svincolo A1	Campogalliano (MO)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
129	311+480:311+770	Verona	Campogalliano (MO)	area industriale destinata alla produzione, con presenza di uffici
130	312+520	Verona	Campogalliano (MO)	edificio abbandonato in totale dissesto
131	312+720	svincolo A1	Campogalliano (MO)	edificio residenziale con dipendenze agricole prevalentemente in totale dissesto
132	313 + 420	svincolo A1	Campogalliano (MO)	edifici residenziali con pertinenze agricole in affaccio sullo svincolo A22-A1

TABELLA 13: TIPOLOGIA DI EDIFICATO PRESENTE – EMILIA-ROMAGNA

4 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

Le analisi e le considerazioni riportate nel presente capitolo fanno riferimento ai seguenti documenti del Progetto Definitivo per la realizzazione della terza corsia dell'Autostrada del Brennero A22:

- Relazioni geologiche - n° 3 (Regioni Veneto, Lombardia, Emilia Romagna)
- Carte geolitologiche in scala 1:5000 - n° 3 + 5 + 4 (per Regioni)
- Profili litostratigrafici in scala D=1:5000, H=1:500 - n° 3 + 5 + 4 (per Regioni)
- Relazioni geotecniche - n° 3 (Regioni Veneto, Lombardia, Emilia Romagna)
- Modelli geotecnici scala D=1:5000, H=1:500 - n° 3 + 5 + 4 (per Regioni)
- Relazioni sismiche - n° 3 (Regioni Veneto, Lombardia, Emilia Romagna)

4.1 Quadro geologico di riferimento

Per ciò che riguarda l'**ambito delle Regioni Veneto e Lombardia** in cui si inserisce il tracciato dell'Autostrada del Brennero A22 oggetto di ampliamento alla terza corsia, il territorio in esame appartiene al settore nord orientale della Pianura Padana la cui evoluzione geologica risulta connessa allo sviluppo della catena alpina e di quella appenninica costituendo, sin dal tardo Cretacico, la parte frontale delle due sistemi ad opposta convergenza. Dal Pliocene ad oggi tale depressione, dal profilo asimmetrico, con minore inclinazione del lato settentrionale, è stata progressivamente colmata da sedimenti dapprima marino-transizionali e quindi strettamente continentali.

Strutturalmente la pianura veronese rientra in un settore della Pianura Padana a carattere omonoclinico, con una debole immersione regionale del basamento mesozoico verso sud, mentre la parte lombarda ricade in un settore monoclinico limitato, a Nord, dal fronte di sovrascorrimento subalpino, il cui lembo esterno corrisponde alla struttura compressiva di

Volta Mantovana e a Sud, dal fronte di accavallamento esterno dell'Appennino sepolto (ETF) nella zona delle Pieghe Ferraresi.

L'evoluzione del bacino padano vede, a partire dal Messiniano, la quasi completa cessazione dei movimenti tettonici legati all'edificio alpino. Nel contempo si registra un sensibile spostamento verso Nord-Est del fronte dell'Appennino settentrionale. Da questo momento le geometrie deposizionali del bacino padano sono strettamente legate ai repentini sollevamenti e movimenti in avanti delle falde Nord Appenniniche e dai lunghi periodi di relativa calma e subsidenza isostatica dei bacini. Il margine meridionale del bacino padano, a ridosso del fronte appenninico, risente in modo consistente di tali movimenti.

Il margine settentrionale risente, invece, in modo più blando di quanto succede nel bacino. I movimenti sono registrati da superfici di erosione arealmente anche molto estese, dalla riattivazione di strutture mioceniche sepolte e dalla deposizione di livelli detritici fini legati a movimenti eustatici.

Gli studi della successione sedimentaria plio-pleistocenica padana ne hanno messo in evidenza il carattere tendenzialmente regressivo. Infatti, i depositi torbiditici di mare

profondo, presenti alla base, sono ricoperti da un prisma sedimentario all'interno del quale si distinguono le seguenti facies: scarpata, piattaforma esterna, litorale, deltizia/lagunare e fluviale.

I corpi sedimentari presentano due direzioni prevalenti di progradazione: la prima assiale rispetto al bacino Padano, Est vergente, originata dal paleo-delta del Po; la seconda trasversale Sud-Est vergente, originata dai sistemi deltizi ad alimentazione alpina.

Per ciò che riguarda l'**ambito della Regione Emilia Romagna**, il settore di territorio in esame ricade nella porzione di Pianura Padana a sud del fiume Po. Si tratta di un esteso bacino subsidente che iniziò a delinarsi quando emersero prima la catena Alpina poi quella

Appenninica, di cui la Pianura rappresenta le rispettive avanfosse.

Detto ambiente, dal punto di vista strutturale, risulta strettamente connesso all'Appennino Settentrionale. Infatti, il fronte della catena appenninica non coincide con il margine appenninico-padano (limite morfologico catena-pianura), ma è individuabile negli archi esterni delle Pieghe Emiliane e Ferraresi, sepolte dai sedimenti quaternari. Quindi, il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta. Si può così schematizzare che l'evoluzione del territorio dell'Emilia-Romagna coincide con l'evoluzione del settore esterno della catena nord-appenninica.

Il quadro stratigrafico del sottosuolo padano risulta caratterizzato da una potente successione terrigena del Quaternario, suddivisibile, in senso stratigrafico, in un'unità inferiore d'ambiente marino e in un'unità superiore affiorante d'ambiente continentale.

I sedimenti di origine marina si sono depositi a partire da poco dopo la fine del Pliocene fino al Pleistocene medio.

Per quanto riguarda i depositi continentali, i tecnici del Servizio cartografico e geologico della Regione Emilia Romagna hanno riconosciuto due unità stratigrafiche principali: Unità Emiliana Inferiore e Unità Emiliana Superiore.

L'Unità Emiliana-Romagnola Inferiore rappresenta la fase iniziale della sedimentazione continentale del Quaternario con limite inferiore e superiore di tipo erosivo. L'unità è sedimentata in un ambiente di piana alluvionale durante un periodo di subsidenza regionale, costituita in prevalenza da depositi fini con intercalazioni di corpi ghiaiosi e sabbiosi nastriformi, riferibili ad antichi paleoalvei fluviali, i quali diventano preponderanti in corrispondenza dell'apertura dei principali bacini vallivi sull'antistante pianura alluvionale.

L'unità Emiliana Superiore ha avuto origine, dopo un'importante fase tettonica di sollevamento regionale, con la quale ebbe inizio la rapida progradazione dei sistemi di conoide alluvionale nella zona antistante ai rilievi appenninici e dei sistemi fluvio-deltizi lungo la fascia del Po.

Le Pieghe Ferraresi sono un sistema di pieghe-faglie che hanno dato origine a due dorsali sepolte che nell'insieme descrivono un arco vergente verso nord, esteso tra Reggio Emilia e la costa adriatica, che si spinge fino ed oltre il Po tra Ferrara e Occhiobello (RO).

La strutturazione di queste dorsali sepolte è il risultato dell'attività di faglie inverse (thrust) iniziata nel Pliocene medio-superiore, con vergenza settentrionale e piano di scorrimento immergente verso sud; di attivazione più recente sono le strutture retrovergenti con piano di scorrimento immergente verso nord (backthrust) che interessano soprattutto gli orizzonti più superficiali.

Nelle aree di sinclinale lo spessore delle alluvioni supera i 500 m mentre nelle zone di alto strutturale, si riduce fino a meno di 100 m, con grandi lacune stratigrafiche e, talora, anche

il substrato risulta fortemente eroso. Nel complesso, i depositi affioranti nel territorio in esame sono relativi alla sottounità più recente del Supersistema Emiliano-Romagnolo, definita, in letteratura geologica, come Subsistema di Ravenna, costituita da una successione sedimentaria la cui deposizione è inquadrabile nell'ambito degli eventi alluvionali verificatisi dal Pleistocene superiore ad oggi.

Con l'eccezione dell'estremità meridionale del tratto oggetto di studio, ubicato in corrispondenza dell'unghia della conoide del fiume Secchia, si tratta di depositi di piana alluvionale. Più precisamente, in provincia di Reggio Emilia, sono presenti solo depositi di piana a meandri mentre, a sud del confine con la provincia di Modena si alternano, in ordine di tessitura decrescente, depositi di canale, di argine prossimale, di argine distale, di area interfluviale e di palude. Lo spessore massimo dell'unità è di inferiore a 20 metri. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche.

Le principali classi di sistemi deposizionali possono essere raggruppate come segue:

- Piana alluvionale ad alimentazione assiale (paleo-Po)
- Conoide alluvionale e piana alluvionale ad alimentazione alpina e appenninica
- Delta ad alimentazione assiale (paleo Po) alpina ed appenninica
- Delta conoide alpino ed appenninico
- Piana costiera
- Piattaforma sommersa
- Scarpare sottomarina
- Piana bacinale.

4.2 Litostratigrafia

Per descrivere il profilo litostratigrafico dell'intero ambito di pertinenza delle opere sono state utilizzate 7 differenti classi di terreni:

- CL-1** Depositi prevalentemente ghiaiosi, in matrice sabbiosa, ghiaie con sabbie
- CL-2** Depositi prevalentemente sabbioso ghiaiosi, sabbie con ghiaie e ciottoli
- CL-3** Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi
- CL-4** Depositi prevalentemente limosi o limoso sabbiosi
- CL-5** Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi
- CL-6** Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori sostanza organica, torbe
- CL-7** Rilevato autostradale esistente

Per ciò che riguarda la **Regione Veneto** si possono fare le seguenti considerazioni:

- Tutto il settore più settentrionale, a nord della chilometrica 232, è largamente dominato dai "Depositi prevalentemente ghiaiosi, in matrice sabbiosa, ghiaie con

sabbie" al cui interno si trovano solo piccole lenti di "Depositi prevalentemente sabbioso ghiaiosi, sabbie con ghiaie e ciottoli".

- Nel tratto compreso all'incirca tra la chilometrica 232 e la chilometrica 237, si osserva che livelli di "Depositi prevalentemente ghiaiosi, in matrice sabbiosa, ghiaie con sabbie" si interdigano a livelli costituiti da sedimenti più fini (dai limi alle sabbie con ghiaie e ciottoli), rilasciati da correnti a minor energia di trasporto.
- "Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe" sono presenti a costituire delle piccole lenti, tra cui, l'unica significativa è quella nel primo sottosuolo nella valle del fiume Tartaro. Tra la chilometrica 237 e la chilometrica 242, almeno nei primi 50 m di sottosuolo, la classe più presente è quella dei "Depositi prevalentemente sabbioso ghiaiosi, sabbie con ghiaie e ciottoli", sottostanti una copertura di spessore variabile (fino a 7÷8 m) di depositi a differenti tessiture (da argillosa a sabbiosa).
- A sud della chilometrica 242 dominano i "Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi" con locali lenti appartenenti alle altre classi.

Per ciò che riguarda la **Regione Lombardia**, la classe più presente nel sottosuolo in esame

considerando uno spessore di una cinquantina di metri, è quella dei "Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi" anche se, molto spesso, essi si rinvencono sotto una copertura di spessore variabile (mediamente pari a 5÷10 m) di sedimenti più fini: "Depositi prevalentemente limosi o limoso sabbiosi" e "Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi".

Fa eccezione il tratto a cavallo del fiume Mincio tra le chilometriche 261 e 264 che presenta assetto litostratigrafico molto vario, con alternanze di depositi a differente granulometria (tra i quali anche "Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe" e "Depositi prevalentemente sabbioso ghiaiosi, sabbie con ghiaie e ciottoli), per l'intera profondità indagata.

Sabbie affioranti si trovano: a nord della chilometrica 246, tra le chilometriche 249,1 e 251,3, attorno alla chilometrica 254, subito a settentrione del fiume Mincio (tra le chilometriche 258,6 e 262,5), tra le chilometriche 264,3 e 265,0 e in corrispondenza dell'alveo del fiume Po (tra la chilometrica 269,0 e la chilometrica 270,0).

Relativamente alla presenza di locali lenti di "Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe", oltre a quelle già indicate in vicinanza del fiume Mincio (tra le chilometriche 262,5 e 264,8) vanno segnalate quelle rilevate con il sondaggio MN-SC82, per uno spessore complessivo di circa 9 m, e quelle in corrispondenza della chilometrica 276,7, anche se più piccole (lo spessore complessivo è di circa 2 m).

Per ciò che riguarda la **Regione Emilia Romagna**, la classe più presente nel sottosuolo in esame la classe più presente nel sottosuolo in esame, considerando uno spessore di una cinquantina di metri, è quella dei "Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi" che domina tutta la porzione di pianura a sud della chilometrica 292.

In questo tratto, le altre tipologie di depositi formano solo delle lenti di dimensioni variabili. Quelle di "Depositi prevalentemente ghiaiosi in matrice sabbiosa, ghiaie con sabbie" e di "Depositi prevalentemente sabbioso ghiaiosi, sabbie con ghiaie e ciottoli" si trovano solo

nel settore più meridionale a rappresentare le diramazioni più avanzate della conoide del fiume Secchia.

Per quanto riguarda i “Depositi prevalentemente limosi o limoso sabbiosi” un importante livello, spesso quasi 20 m, è presente tra la chilometrica 309 e la chilometrica 310.

Da segnalare è anche la lente di “Depositi prevalentemente argillosi o limosi con elevati tenori di sostanza organica, torbe” dunque con caratteristiche geotecniche scadenti, che domina il primo sottosuolo tra le chilometriche 297 e 300.

Differente è, invece, l'assetto litostratigrafico del settore più settentrionale, a nord della chilometrica 292, dove si nota che, a partire da una profondità variabile, compresa tra i 7 e i 17 m dal piano d'indagine, si incontra un potente banco, pluridecimetrico di “Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi”, riconducibile alla sedimentazione del fiume Po, quando scorreva molto più a sud rispetto all'attuale posizione.

Nella **Tabella 14** sono riportate le caratteristiche litologiche dei terreni in corrispondenza dei ricettori oggetto di misure delle vibrazioni.

POSTAZIONE		LITOLOGIA		
N°	Progressiva	Classe	UNI 9916	Descrizione
V-01	224 + 825	CL-1	e	Depositi prevalentemente ghiaiosi, in matrice sabbiosa, ghiaie con sabbie
V-02	229 + 225	CL-1	e	Depositi prevalentemente ghiaiosi, in matrice sabbiosa, ghiaie con sabbie
V-03	229 + 315	CL-1	e	Depositi prevalentemente ghiaiosi, in matrice sabbiosa, ghiaie con sabbie
V-04	229 + 440	CL-1	e	Depositi prevalentemente ghiaiosi, in matrice sabbiosa, ghiaie con sabbie
V-05	229 + 570	CL-1	e	Depositi prevalentemente ghiaiosi, in matrice sabbiosa, ghiaie con sabbie
V-06	229 + 565	CL-1	e	Depositi prevalentemente ghiaiosi, in matrice sabbiosa, ghiaie con sabbie
V-07	230 + 040	CL-1	e	Depositi prevalentemente ghiaiosi, in matrice sabbiosa, ghiaie con sabbie
V-08	231 + 810	CL-1	e	Depositi prevalentemente ghiaiosi, in matrice sabbiosa, ghiaie con sabbie
V-09	234 + 090	CL-2	e	Depositi prevalentemente sabbioso ghiaiosi, sabbie con ghiaie e ciottoli
V-10	251 + 970	CL-3	e	Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi
V-11	254 + 275	CL-3	e	Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi
V-12	261 + 905	CL-3	e	Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi
V-13	270 + 435	CL-5	e	Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi
V-14	275 + 600	CL-4	e	Depositi prevalentemente limosi o limoso sabbiosi
V-15	276 + 305	CL-5	e	Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi
V-16	279 + 370	CL-5	e	Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi
V-17	280 + 150	CL-4	e	Depositi prevalentemente limosi o limoso sabbiosi
V-18	281 + 860	CL-5	e	Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi
V-19	284 + 080	CL-5	e	Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi
V-20	296 + 480	CL-5	e	Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi
V-21	303 + 350	CL-5	e	Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi
V-22	308 + 405	CL-5	e	Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi
V-23	310 + 345	CL-5	e	Depositi prevalentemente argillosi, argilloso limosi o limoso argillosi
V-24	312 + 725	CL-3	e	Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi
V-25	313 + 420	CL-3	e	Depositi prevalentemente sabbiosi, talora sabbioso limosi

TABELLA 14: PROFILO LITOSTRATIMETRICO IN CORRISPONDENZA DEI PUNTI DI MISURA

4.3 Quadro geotecnico di riferimento

Partendo dagli accorpamenti litologici è stato individuato il modello geotecnico dei terreni di fondazione in asse all'Autostrada A22. La modellazione geotecnica riportata nelle relazioni e nelle tavole geotecniche ha previsto la distinzione di 5 o 6 orizzonti di riferimento (A, B, C, D, E, F), a seconda della Regione considerata. Nel modello geotecnico per ciascun orizzonte sono indicati il peso specifico γ , l'angolo d'attrito caratteristico φ'_k , l'angolo d'attrito medio φ'_m , il modulo elastico caratteristico E_{yk} , il modulo elastico medio E_{ym} .

Nella **Tabella 15** sono riportate le caratteristiche definite dal modello geotecnico.



POSTAZIONE		MODELLO GEOTECNICO						
N°	Progressiva	Orizzonte	Comportamento	γ (kN/m ³)	φ^k (°)	φ^m (°)	E _{yk} (Mpa)	E _{ym} (Mpa)
V-01	224 + 825	A-VEN	granulare	22,0	40,00	41,37	50,93	54,99
V-02	229 + 225	A-VEN	granulare	22,0	40,00	41,37	50,93	54,99
V-03	229 + 315	A-VEN	granulare	22,0	40,00	41,37	50,93	54,99
V-04	229 + 440	A-VEN	granulare	22,0	40,00	41,37	50,93	54,99
V-05	229 + 570	A-VEN	granulare	22,0	40,00	41,37	50,93	54,99
V-06	229 + 565	A-VEN	granulare	22,0	40,00	41,37	50,93	54,99
V-07	230 + 040	A-VEN	granulare	22,0	40,00	41,37	50,93	54,99
V-08	231 + 810	A-VEN	granulare	22,0	40,00	41,37	50,93	54,99
V-09	234 + 090	B-VEN	granulare	21,0	36,81	37,38	43,00	44,59
V-10	251 + 970	B-LOM	granulare	20,0	36,01	36,04	35,01	35,02
V-11	254 + 275	B-LOM	granulare	20,0	36,01	36,04	35,01	35,02
V-12	261 + 905	B-LOM	granulare	20,0	36,01	36,04	35,01	35,02
V-13	270 + 435	D-LOM	coesivo	18,5	22,90	22,97	Eedk=4,70	Eedm=4,76
V-14	275 + 600	C-LOM	coesivo	19,0	25,60	25,71	Eedk=5,94	Eedm=6,03
V-15	276 + 305	D-LOM	coesivo	18,5	22,90	22,97	Eedk=4,70	Eedm=4,76
V-16	279 + 370	D-LOM	coesivo	18,5	22,90	22,97	Eedk=4,70	Eedm=4,76
V-17	280 + 150	C-LOM	coesivo	19,0	25,60	25,71	Eedk=5,94	Eedm=6,03
V-18	281 + 860	D-LOM	coesivo	18,5	22,90	22,97	Eedk=4,70	Eedm=4,76
V-19	284 + 080	D-LOM _[Emilia]	coesivo	18,5	22,90	22,97	Eedk=4,70	Eedm=4,76
V-20	296 + 480	D-EMI	coesivo	18,5	22,45	22,47	Eedk=5,06	Eedm=5,07
V-21	303 + 350	D-EMI	coesivo	18,5	22,45	22,47	Eedk=5,06	Eedm=5,07
V-22	308 + 405	D-EMI	coesivo	18,5	22,45	22,47	Eedk=5,06	Eedm=5,07
V-23	310 + 345	D-EMI	coesivo	18,5	22,45	22,47	Eedk=5,06	Eedm=5,07
V-24	312 + 725	C-EMI _{presunto}	coesivo	19,0	22,80	22,93	Eedk=5,23	Eedm=5,30
V-25	313 + 420	C-EMI _{presunto}	coesivo	19,0	22,80	22,93	Eedk=5,23	Eedm=5,30

TABELLA 15: CARATTERISTICHE DEL MODELLO GEOTECNICO IN CORRISPONDENZA DEI PUNTI DI MISURA

4.4 Report indagini sismiche

Nei Report delle Relazioni Sismiche sono riportati i risultati delle prove Down Hole e MASW eseguite sul territorio oggetto di intervento. L'aspetto interessante ai fini della propagazione delle vibrazioni è la stima della velocità delle onde sismiche nei primi 30 m (V_{s30}) in m/s valutata seguendo le prescrizioni dell'OPCM 3274/2003 e del D.M. 14.01.2008.

Sono state effettuate n° 9 prove nella Regione Veneto, n° 27 prove nella Regione Lombardia e n° 9 prove nella Regione Emilia-Romagna.

I risultati di tali valutazioni sono riportati nel seguito.

Regione Veneto

01V-MA, 28/06/12 - $V_{s30} = 312,74$ m/s

Prova MASW per la determinazione della VS30 per il sovrappasso n. 93 dell'Autostrada A22 nel Comune di Nogarole Rocca (VR).

02V-DH, 20/12/12 - $V_{s30} = 634,21$ m/s

Prova Down Hole a 40 m per la determinazione della VS30 per il sovrappasso n° 80 dell'Autostrada A22 nel Comune di Verona.

03V-DH - $V_{s30} = 682$ m/s

Prova Down, Sovrappasso "Binlunghe" - n. 81 (Progressiva km. 224+103).

04V-DH - $V_{s30} = 674$ m/s

Prova Down, sottopasso F.S. Venezia - Milano (Progressiva Km. 225 + 706)

05V-DH - $V_{s30} = 754$ m/s

Prova Down, sovrappasso S.P. VR - Sommacampagna n. 82 (alla progr. Km 227 + 033) e S.S. 11 – S.S. 12 n. 83 (alla progr. km 227 + 043)

06V-DH - $V_{s30} = 687$ m/s

Prova Down, sottopasso pista Trento - Venezia (Progressiva Km. 227 + 990)

07V-DH - $V_{s30} = 657$ m/s

Prova Down, sovrappasso SS 62 n. 85 della Cisa, a Dossobuono (Km. 229+587)

08V-DH - $V_{s30} = 599$ m/s

Prova Down, Ssttopasso F.S. Verona – Mantova (Progressiva km. 230 + 163)

09V-DH, 11/05/10 - $V_{s30} = 230,92$ m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della VS30 per il sovrappasso n° 97 dell'Autostrada A22.

Regione Lombardia

01L-MA, 21/11/07 - $V_{s30} = 183,44$ m/s

Prova MASW, A22-Ponte Fiume Mincio e Fissero Tartaro

02L-MA, 21/11/07 - $V_{s30} = 187,12$ m/s

Prova MASW, A22-Ponte Fiume Mincio e Fissero Tartaro

03L-MA, 21/11/07 - $V_{s30} = 190,97$ m/s

Prova MASW, A22-Ponte Fiume Mincio e Fissero Tartaro

04L-MA, 21/11/07 - $V_{s30} = 178,82$ m/s

Prova MASW, A22-Ponte Fiume Mincio e Fissero Tartaro

05L-MA, 21/11/07 - $V_{s30} = 187,26$ m/s



Prova MASW, A22-Ponte Fiume Mincio e Fissero Tartaro

06L-MA, 21/11/07 - Vs₃₀ = 177,02 m/s

Prova MASW, A22-Ponte Fiume Mincio e Fissero Tartaro

07L-DH - Vs₃₀ = 229,55 m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della VS30 per il sovrappasso n° 100 dell'Autostrada A22

08L-DH - Vs₃₀ = 229,71 m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della VS30 per il sovrappasso n° 101 dell'Autostrada A22

09L-DH - Vs₃₀ = 234,58 m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della VS30 per il sovrappasso n° 102 dell'Autostrada A22

10L-DH - Vs₃₀ = 226,46 m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della VS30 per il sovrappasso n° 104 dell'Autostrada A22

11L-DH - Vs₃₀ = 223,56 m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della VS30 per il sovrappasso n° 105 dell'Autostrada A22

12L-DH - Vs₃₀ = 268,97 m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della VS30 per il sovrappasso n° 106 dell'Autostrada A22

13L-DH - Vs₃₀ = 245,01 m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della VS30 per il sovrappasso n° 108 dell'Autostrada A22

14L-DH - Vs₃₀ = 250,36 m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della VS30 per il sovrappasso n° 109 dell'Autostrada A22

15L-DH - Vs₃₀ = 223,64 m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della VS30 per il sovrappasso n° 110 dell'Autostrada A22.

16L-DH - Vs₃₀ = 264,58 m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della VS30 per il sovrappasso n° 111 dell'Autostrada A22

17L-DH, 21/11/07 - Vs₃₀ = 219,57 m/s

Prova Down Hole, A22-Ponte Fiume Mincio e Fissero Tartaro

18L-DH, 21/11/07 - Vs₃₀ = 227,05 m/s

Prova Down Hole, A22-Ponte Fiume Mincio e Fissero Tartaro

19L-DH, 21/11/07 - Vs₃₀ = 180,63 m/s

Prova Down Hole, A22-Ponte Fiume Mincio e Fissero Tartaro

20L-DH, 26/07/11 - Vs₃₀ = 266,37 m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della VS30 per il sovrappasso n° 112 della S. S. 413 Romana sull'Autostrada A22

21L-DH, 24/09/10 - Vs₃₀ = 242,05 m/s

Prova Down Hole a 60 m, per la determinazione della Vs 30 per il ponte sul Fiume Po dell'Autostrada A22 in località San Nicolò Po nel Comune di Bagnolo San Vito (MN)

22L-DH, 8/09/10 - Vs₃₀ = 213,10 m/s

Prova Down Hole a 60 m, per la determinazione della Vs 30 per il ponte sul Fiume Po dell'Autostrada A22 in località San Nicolò Po nel Comune di Bagnolo San Vito (MN)

23L-DH, 15/09/10 - Vs₃₀ = 201,23 m/s

Prova Down Hole a 60 m, per la determinazione della Vs 30 per il ponte sul Fiume Po dell'Autostrada A22 in località San Nicolò Po nel Comune di Bagnolo San Vito (MN)

24L-DH, 5/10/10 - Vs₃₀ = 177,45 m/s

Prova Down Hole a 60 m, per la determinazione della Vs 30 per il ponte sul Fiume Po dell'Autostrada A22 in località Portiolo nel Comune di San Benedetto Po (MN)

25L-DH, 15/04/13 - Vs₃₀ = 241,96 m/s

Prova Down Hole a 45 m, per la determinazione della Vs 30 per sovrappasso n° 115 dell'Autostrada A22 nel Comune di Pegognaga (MN)

26L-DH, 15/04/13 - Vs₃₀ = 222,99 m/s

Prova Down Hole a 45 m, per la determinazione della Vs 30 per sovrappasso n° 116 dell'Autostrada A22 nel Comune di Pegognaga (MN)

27L-DH, 15/04/13 - Vs₃₀ = 204,97 m/s

Prova Down Hole a 45 m, per la determinazione della Vs 30 per sovrappasso n° 124 dell'Autostrada A22 nel Comune di Gonzaga (MN)

Regione Emilia-Romagna

01E-DH, 28/04/10 - Vs₃₀ = 203,24 m/s

Prova Down Hole a 45 m, per la determinazione della Vs 30 in prossimità del sovrappasso dell'Autostrada A22 con la linea ferroviaria MO-VR.



02E-DH, 21/02/08 - $V_{s30} = 236,34$ m/s

Prova Down Hole a 45 m, per la determinazione della V_s 30 per il Ponte sul Canale Fossa Rasa dell'Autostrada A22 nel Comune di Rolo (RE)

03E-DH, 21/02/08 - $V_{s30} = 217,97$ m/s

Prova Down Hole a 45 m, per la determinazione della V_s 30 per il Ponte sul Canale Fossa Rasa dell'Autostrada A22 nel Comune di Rolo (RE)

04E-DH, 10/09/12 - $V_{s30} = 220,64$ m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della V_{s30} per il sovrappasso n°128 dell'autostrada A22 nel Comune di Carpi (MO)

05E-DH, 11/09/12 - $V_{s30} = 208,02$ m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della V_{s30} per il sovrappasso n°129 dell'autostrada A22 nel Comune di Carpi (MO)

06E-DH, 11/09/12 - $V_{s30} = 194,91$ m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della V_{s30} per il sovrappasso n°130 dell'autostrada A22 nel Comune di Carpi (MO).

07E-DH, 29/08/12 - $V_{s30} = 184,00$ m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della V_{s30} per il sovrappasso n°134 dell'autostrada A22 nel Comune di Carpi (MO).

08E-DH, 2/07/12 - $V_{s30} = 181,24$ m/s

Prova Down Hole a 60 m per la determinazione della V_{s30} per il sovrappasso n°138 dell'autostrada A22 nel Comune di Carpi (MO).

09E-DH, 29/08/12 - $V_{s30} = 193,28$ m/s

Prova Down Hole a 45 m per la determinazione della V_{s30} per il sovrappasso n°141 dell'autostrada A22 nel Comune di Campogalliano (MO).



5 EMISSIONI DI VIBRAZIONI IN FASE DI COSTRUZIONE

5.1 Premessa

Per eseguire i lavori in progetto sono previsti due tipi di cantieri operativi, caratterizzati da differenti impieghi di mezzi e tempi di lavori:

- Tipo 1 – per l'intervento nello spartitraffico
- Tipo 2 – per l'intervento sulle scarpate laterali (simmetrico o asimmetrico)

Sono inoltre individuate due tipologie di aree di cantiere distribuite nel tratto compreso tra Verona Nord e l'intersezione con l'A1 con lo scopo di disporre di aree per l'accumulo dei materiali che verranno successivamente riutilizzati e per eseguire determinate lavorazioni (selezione, trattamento, ecc.):

- Tipo A - aree cantiere, approvvigionamento, stoccaggio e deposito temporaneo
- Tipo B – aree di deposito temporaneo

In ultimo, sono previsti dei cantieri per le opere d'arte specifici per ciascun manufatto su cui si interviene ed ubicati in prossimità dell'opera stessa.

L'esecuzione dei lavori volti alla realizzazione della terza corsia tra Verona nord e l'intersezione con l'autostrada A1 sarà organizzata in tre distinti lotti funzionali:

- Lotto 1, riguardante il segmento compreso tra il km 312+200 e il km 313+700, centrato sui lavori di riconfigurazione dello snodo di interconnessione A22-A1 e funzionale al collegamento autostradale Campogalliano-Sassuolo;
- Lotto 2, riguardante il segmento A22 tra il km 223+100 e il km 246+185, ricadente in provincia di Verona;
- Lotto 3, avente ad oggetto la porzione di nastro posta tra il km 246+185 e il km 312+200, ricadente nelle province di Mantova, Reggio Emilia e Modena.

Le emissioni di vibrazioni in corso d'opera sono correlate alle lavorazioni distribuite lungo il fronte avanzamento dei lavori Tipo 1 e 2, alle attività svolte presso le aree di cantiere Tipo A e B e nei cantieri destinati alla realizzazione delle opere d'arte. Una ulteriore sorgente di vibrazioni che può rilevarsi significativa è il traffico di cantiere su piste sterrate.

Sono state identificate le seguenti lavorazioni con moderate (M) o significative (S) emissioni vibrazionali:

ATTIVITA' DI DEMOLIZIONE

- Demolizione manufatti in cemento armato con martelli demolitori (S)
- Scapitozzatura teste pali (S)
- Demolizione con pinze (M)
- Demolizione con idrogetto (M)
- Demolizione con martinetti idraulici (M)
- Taglio con dischi o fili abrasivi (M)

ATTIVITA' DI COMPATTAZIONE

- Compattazione di sottofondi stradali con rulli compattatori vibranti (S) sui tratti in ampliamento laterale e centrale)
- Compattazione della pavimentazione stradale (M)

ATTIVITA' DI INFISSIONE O VIBROINFISSIONE

- Vibroinfissione palancole (per fasizzazione delle lavorazioni)
- Vibroinfissione tuboforma per pali in sabbia (Svincolo interconnessione A22-A1)

ATTIVITA' DI REALIZZAZIONE FONDAZIONI E CONSOLIDAMENTO

- Micropali a rotopercolazione (S)
- Pali di grande diametro con vibroinfissione del tuboforma e scavo a rotazione (S)

SCAVI DI SBANCAMENTO

- Impiego di mezzi cingolati di grossa portata (nel tratto di allargamento laterale in trincea)
- Impiego di mezzi gommati di grossa portata (M)

5.2 Cantieri Tipo 1 – Intervento nello spartitraffico

Sono previsti cantieri della lunghezza di circa 6000 metri ciascuno di durata complessiva pari a 6 mesi.

Le lavorazioni più rilevanti in termini vibrazionali sono la 6, la 9 e la 11 quelle relative alla stabilizzazione e che fanno uso di rulli vibranti. La posizione delle lavorazioni, in posizione centrale rispetto alle carreggiate, rende tuttavia questa lavorazione di minore impatto rispetto al Cantiere Tipo 2 con intervento sulle scarpate laterali.

LAVORAZIONI	squadre	MESE																								
		1° sett.	2° sett.	3° sett.	4° sett.	5° sett.	6° sett.	7° sett.	8° sett.	9° sett.	10° sett.	11° sett.	12° sett.	13° sett.	14° sett.	15° sett.	16° sett.	17° sett.	18° sett.	19° sett.	20° sett.	21° sett.	22° sett.	23° sett.	24° sett.	
1 squadra - INTERVENTO NELLO SPARTITRAFFICO		TRATTO 1 - km 6																								
1. Segnaletica provvisoria	2	12																								
2. Posa new jersey	2		12	12																						
3. Rimozione scurvia	1				6	6	6	6																		
4. Scotico	4					52	52	52	52																	
5. Scavo con deposito laterale	1						4	4	4	4	4	4	4													
6. Stabilizzazione di tre strati da 35 cm	2						14	14	14	14	14	14	14													
7. Perforazioni per attraversamenti acque meteoriche	2									10	10	10	10	10	10											
8. Posa tubazioni, pozzetti e caditoie acque	2										12	12	12	12	12	12										
9. Stabilizzato e misto cementato	2											12	12	12	12	12										
10. Pozzetti e tubazioni impianto antinebbia	1											6	6	6	6	6										
11. Base, binder e tappeto drenante	2															16	16	16	16							
12. Sicurvia e segnaletica	4																24	24	24	24						
13. Impianti antinebbia	2																			12	12	12				
14. Rimozione new jersey e segnaletica provvisoria	2																								12	12



- Sottopasso di svincolo n°2 L=6.00+1.50(pista MO-MI) pr. Km 227+816
- Sottopasso per l'Autostrada Serenissima presso Dossobuono pr. Km 227+903
- Sottopasso di svincolo n°3 L=6.00+1.50(pista TN-VE) pr. Km 227+990
- Sottopasso di svincolo n°4 L=6.00+1.50 (pista MI-TN) pr. Km 228+258
- Sottopasso ANAS n°8 (Tangenziale) pr. Km 228+704
- Sovrappasso L=10.50+2.00 S.S. 62 della Cisa a Dossobuono [n° 85] pr. Km 229+587
- Sottopasso F.S. VR-MN a Dossobuono (in obliquo) pr. Km 230+163
- Ponte sul fiume Tartaro pr. Km 236+180
- Ponte sul canale Acque Alte pr. Km 258+610
- Ponte sul canale diversivo "Fissero-Tartaro" pr. Km 261+965
- Ponte sul fiume Mincio pr. Km 262+462
- Ponte sul fiume Po pr. Km 269+115
- Sovrappassi intersezione A1 pr. Km 313+085

Per le opere di modesta entità, quali i sottopassi e sovrappassi verranno ricavate delle aree di cantiere o sui tratti di carreggiata adiacenti all'opera interdetti al traffico o su relitti di proprietà dell'autostrada o su terreni che saranno occupati temporaneamente. Per tali opere risulterà sufficiente un'area dell'estensione di circa 2.000 m². Per opere più importanti quali viadotti a più campate, sovrappassi di luce notevole o preassemblati e varati sarà invece necessario prevedere delle aree di maggiori dimensioni

Le lavorazioni più rilevanti in termini vibrazionali sono riferite ai cantieri in cui sono previste lavorazioni di demolizione di opere d'arte in cemento armato, di realizzazione pali di grande diametro, l'esecuzione di micropali o setti di fondazione con relativa fase di scapitozzatura.

Nella tabella a seguire sono descritte le lavorazioni più significative in termini vibrazionali associate alla realizzazione delle opere d'arte.

OPERA	pk [km]	TIPO DI LAVORAZIONE
Sovrappasso "tipo" L=6.00+1.50 "Bine Lunghe" [n° 81]	224+103	Demolizione sovrappasso esistente
Sottopasso obliquo L=14.00 per S.P. di Lugagnano	224+724	Rinforzo (micropali) e allargamento delle spalle
Ponte sul canale Conagro (obliquo) L=23.00 pr.	224+854	
Sottopasso svincolo stazione Verona nord L=14.00+2.00	225+372	Rinforzo con tiranti e micropali e allargamento delle spalle. Demolizione dell'impalcato e della sommità delle spalle esistenti.
Sottopasso F.S. Venezia-Milano presso Lugagnano L=26.33	225+706 225+8	Sostituzione delle attuali spalle con pile a setto in c.a. fondate su pali di grande diametro (1,2 m). e realizzazione di nuove spalle per le campate laterali. realizzate in calcestruzzo armato e fondate pure su

OPERA	pk [km]	TIPO DI LAVORAZIONE
		pali trivellati di grande diametro
Sottopasso L=7.50+2.00 S.C.Casona	.225+876	Rinforzo ed allargamento delle spalle e dei muri di risvolto ed il completo rifacimento dell'impalcato. Le spalle saranno rinforzate con tiranti, micropali, controparete e parte sommitale di appoggio delle travi e del paraghiaia con struttura in c.a.
Sottopasso A.N.A.S. n° 11 (SP0A07)	226+731	Prolungamento ed adeguamento delle spalle (rinforzate con tiranti e micropali) e dei muri di risvolto e la sostituzione di tutto l'impalcato. Le spalle esistenti saranno rinforzate con tiranti e micropali
Sovrappasso "tipo" L=7.50+2.00 S.P. Verona-Sommacampagna [n° 82]	227+033	Demolizione e ricostruzione dei due sottopassi con un unico manufatto
Sovrappasso "Padana Superiore" con la S.S. 12 della Cisa [n° 83]	227+043	
Sottopasso A.N.A.S. n° 13	227+319	Prolungamento ed adeguamento delle spalle e dei muri di risvolto e la sostituzione di tutto l'impalcato. Le spalle esistenti saranno rinforzate con tiranti e micropali
Sottopasso di svincolo n°1 L=6.00+1.50 (pista VE-MO)	227+545	N.1-2-3-4 Sostituzione degli impalcati e prolungamento e adeguamento delle spalle e dei muri di risvolto. Le nuove spalle ingloberanno nella parte sommitale quelle esistenti poggiando su di esse nella parte anteriore e fondandosi su pali diametro 1.0 m nella parte posteriore. Sottopasso A4 - Le pile sono a setto in c.a. di spessore 2.40 m per quella tra la campata maggiore e quella più corta e da 1.20 m quella tra le campate minori. Esse sono fondate su pali di grande diametro. Le spalle saranno pure realizzate in calcestruzzo armato e fondate su pali trivellati di grande diametro (diametro 1.20 m).
Sottopasso di svincolo n°2 L=6.00+1.50 (pista MO-MI)	227+816	
Sottopasso per l'Autostrada Serenissima A4 presso Dossobuono	227+903	
sottopasso di svincolo n°3 L=6.00+1.50 (pista TN-VE)	227+990	
sottopasso di svincolo n°4 L=6.00+1.50 (pista MI-TN)	228+258	
Sottopasso ANAS n°8 (Tangenziale)	228+704	Prolungamento ed adeguamento delle spalle e dei muri di risvolto, e la sostituzione di tutto l'impalcato Le spalle esistenti saranno rinforzate con tiranti e micropali.
Sovrappasso L=10.50+2.00 S.S. 62 della Cisa a Dossobuono [n° 85]	229+587	Demolizione (in periodo notturno) del sovrappasso esistente ed il suo



OPERA	pk [km]	TIPO DI LAVORAZIONE
		integrale rifacimento. Includere le spalle fondate su pali trivellati.
Sottopasso F.S. VR-MN a Dossobuono (in obliquo)	230+163	Demolizione e ricostruzione degli impalcati oltre al rifacimento delle pile intermedie. Le spalle saranno realizzate in calcestruzzo armato e fondate pure su pali trivellati di grande diametro
Ponte sul fiume Tartaro	236+180	Esecuzione di pali trivellati di grande diametro. infissione del tubo forma fino alla profondità richiesta, escludendo, in prima istanza, l'impiego di fanghi bentonici. Costruzione delle spalle in c.a. a sostegno del nuovo impalcato. Demolizione dei cordoli centrali sugli impalcati esistenti (idrodemolizione) e realizzazione del nuovo impalcato;
Ponte sul canale Acque Alte	258+610	Esecuzione delle spalle in c.a. su pali trivellati a sostegno del nuovo impalcato; successiva realizzazione dell'impalcato di chiusura con travi in c.a.p., Pali a rotoinfissione con tubo forma senza uso di fanghi fino alla profondità richiesta.
Ponte sul canale diversivo "Fissero-Tartaro"	261+965	Si prevede la demolizione completa degli impalcati e delle spalle dei due ponti.
Ponte sul fiume Mincio	262+462	Le spalle saranno costruite ex-novo, saranno fondate su pali di grosso diametro d=1,20m, con infissione del tubo forma fino alla profondità richiesta. Le pile esistenti vengono risanate e rinforzate (incamiciatura). Inoltre, si realizzeranno degli ulteriori pali di grosso diametro per poter soddisfare le verifiche delle fondazioni dell'opera.
Ponte sul fiume Po	269+115	Demolizione per fasi degli attuali impalcati appoggiati in cemento armato precompresso e la sostituzione dei medesimi
Sovrappassi intersezione A1	313+085	Demolizione totale attuale ponte e ricostruzione, le spalle sono fondate su pali di grande diametro e realizzate in calcestruzzo armato. Nuovi sovrappassi con spalle, realizzate in cemento armato ordinario, fondate su pali di grande diametro. Analogamente saranno realizzate le

OPERA	pk [km]	TIPO DI LAVORAZIONE
		strutture di fondazione delle torri di sospensione degli stralli. Realizzazione di 4 sottopassi a struttura scatolare in c.a.



6 AREE DI INTERAZIONE OPERA-AMBIENTE

6.1 Introduzione

Le informazioni sul sistema insediativo esposto e sulla localizzazione delle lavorazioni significative in termini vibrazionali hanno permesso di pervenire alla individuazione di ambiti di potenziale interazione opera-ambiente. Una selezione di queste aree, rappresentative delle condizioni potenzialmente più critiche, è stata oggetto di sopralluoghi finalizzati alla schedatura dei ricettori critici e allo svolgimento di una campagna di monitoraggio vibrazionale di screening.

6.2 Selezione preliminare delle aree potenzialmente critiche

È stata effettuata un'analisi preliminare dei documenti disponibili per selezionare un primo campione di aree con presenza di ricettori potenzialmente soggetti ad impatto vibrometrico nel corso della realizzazione delle opere di ampliamento alla terza corsia Autostrada A22. Escludendo le criticità correlate alle tipologie strutturali dei singoli ricettori, oggetto di approfondimento successivo, i parametri che entrano in gioco nella classificazione di un'area a potenziale rischio di impatto da vibrazioni sono svariati ed impongono un confronto incrociato, finalizzato all'individuazione dei casi realmente critici. In termini esemplificatori si può fare riferimento ai seguenti fattori:

Ricettori

Localizzazione sul territorio di singoli edifici o agglomerati, prevalentemente residenziali o nei quali vengono svolte attività con presenza umana continuativa, attività commerciali, industriali e di vendita correlate all'industria o alla strumentazione di precisione.

La destinazione d'uso del territorio (residenziale, mista, industriale...), la densità abitativa ed il numero di ricettori esposti definiscono la sensibilità del territorio e, dunque, il grado di interesse per la scelta delle aree campione.

Distanza dei ricettori dalle sorgenti di disturbo.

Secondo quanto indicato al par. 3.1 "Sorgenti di vibrazioni ante operam", primo capoverso, la distanza di potenziale impatto può essere compresa nella fascia 0-50 m e, in casi eccezionali di terreni rocciosi o per analisi di secondo livello, la suddetta fascia può essere estesa, considerando comunque il ricettore esposto alle vibrazioni in misura inversamente proporzionale alla distanza.

Sorgenti di disturbo

Presenza delle sorgenti di vibrazioni in fase di cantierizzazione. Sostanzialmente sono stati considerati i futuri Fronti di Avanzamento Lavori (FAL) lungo il tracciato dell'Autostrada A22 oggetto di ampliamento a terza corsia ed i cantieri che ospiteranno lavorazioni con tipiche emissioni di vibrazioni.

Per ciò che riguarda i FAL, è essenziale distinguere i tratti di lavorazione sui quali è previsto un ampliamento laterale simmetrico, laterale asimmetrico (solo un lato è

interessato dall'ampliamento) o centrale poiché, a seconda della tipologia di intervento, viene definita la sfera territoriale dell'intervento e la distanza minima dal ricettore.

Per ciò che riguarda i cantieri, oltre alla distanza minima dai ricettori, è importante verificare le tipologie delle lavorazioni per individuare le potenziali criticità per gli impatti da vibrazioni.

Terreno di fondazione e di propagazione delle vibrazioni

La tipologia del terreno di propagazione sorgente ricettore e di fondazione dell'edificio risulta fondamentale per stabilire il grado di attenuazione e/o amplificazione dei fenomeni vibratorii. In relazione al tipo di terreno, secondo quanto indicato al Capitolo di caratterizzazione geologica e geotecnica che riporta alla classificazione UNI 9916, i parametri di propagazione ed in particolare la velocità di trasmissione, da considerare attentamente in sede di simulazione degli impatti, variano sensibilmente. Non sono da trascurare anche eventuali discontinuità presenti tra la sorgente ed il ricettore.

Stante la natura del fenomeno vibratorio sono state verificate preliminarmente anche situazioni di prossimità alle sorgenti disturbanti relative a pochi ricettori (piccoli gruppi di abitazioni o edifici a più unità immobiliari), prevalentemente situate nella fascia 0-50 m di distanza dalle sorgenti di vibrazioni, ad eccezione di alcuni casi specifici in cui è stata considerata una distanza maggiore. Sono stati presi in considerazione ricettori a destinazione d'uso prevalentemente residenziale e, talvolta, industriale senza ravvisare presenza di attività correlate all'industria o alla strumentazione di precisione nelle prossimità dell'Autostrada A22.

La selezione preliminare del campione di aree ha individuato n° 32 zone potenzialmente critiche, indicate nella **Figura 3, Figura 4, Figura 5** riportate nel seguito.

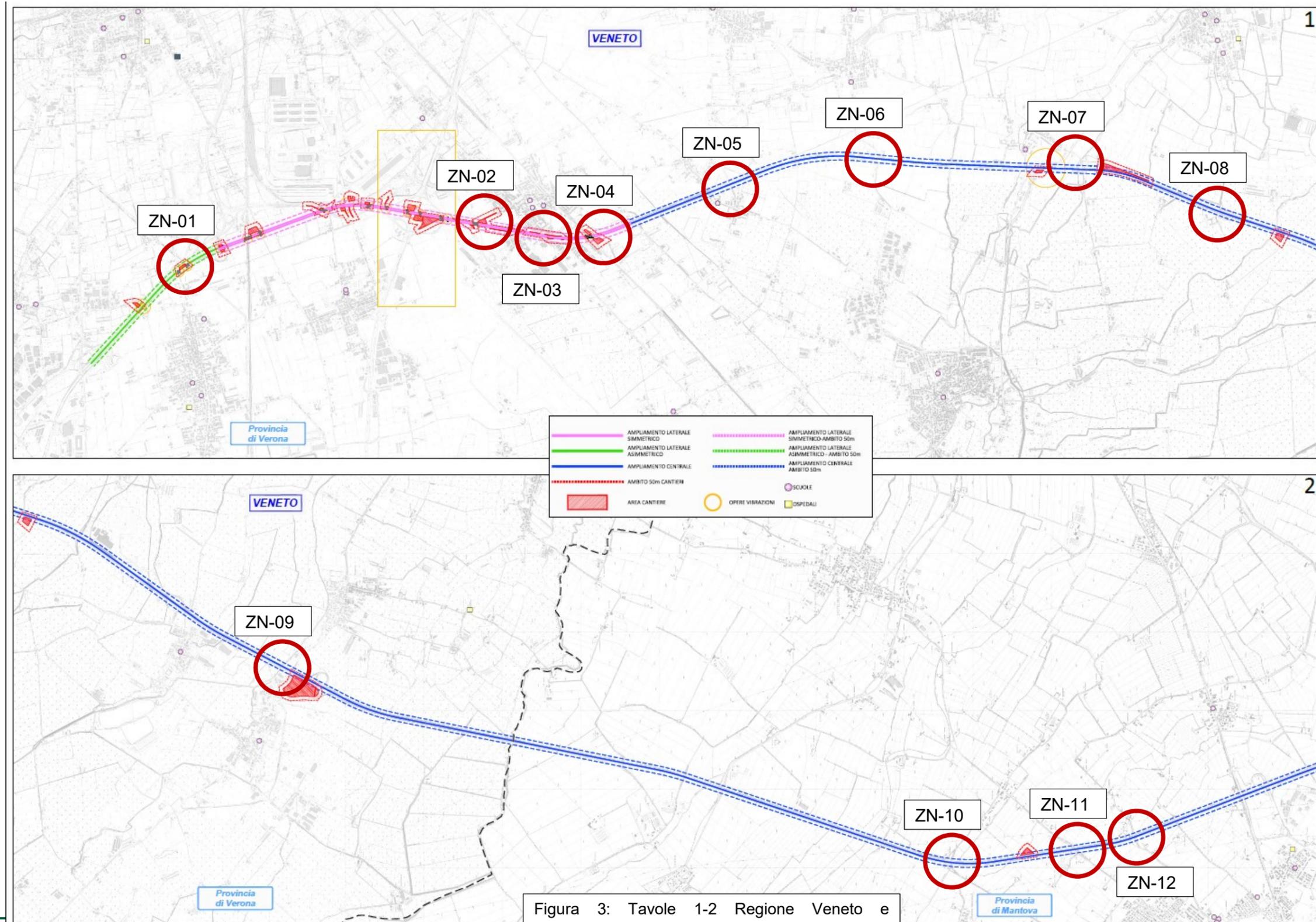
Nelle 3 figure sono riportate le mappe cartografiche del territorio su cui si sviluppa il tracciato dell'Autostrada A22 oggetto di intervento, rispettivamente Tavole 1 e 2 (Regione Veneto e Lombardia), Tavole 3 e 4 (Regione Lombardia), Tavole 5 e 6 (Regione Emilia-Romagna).

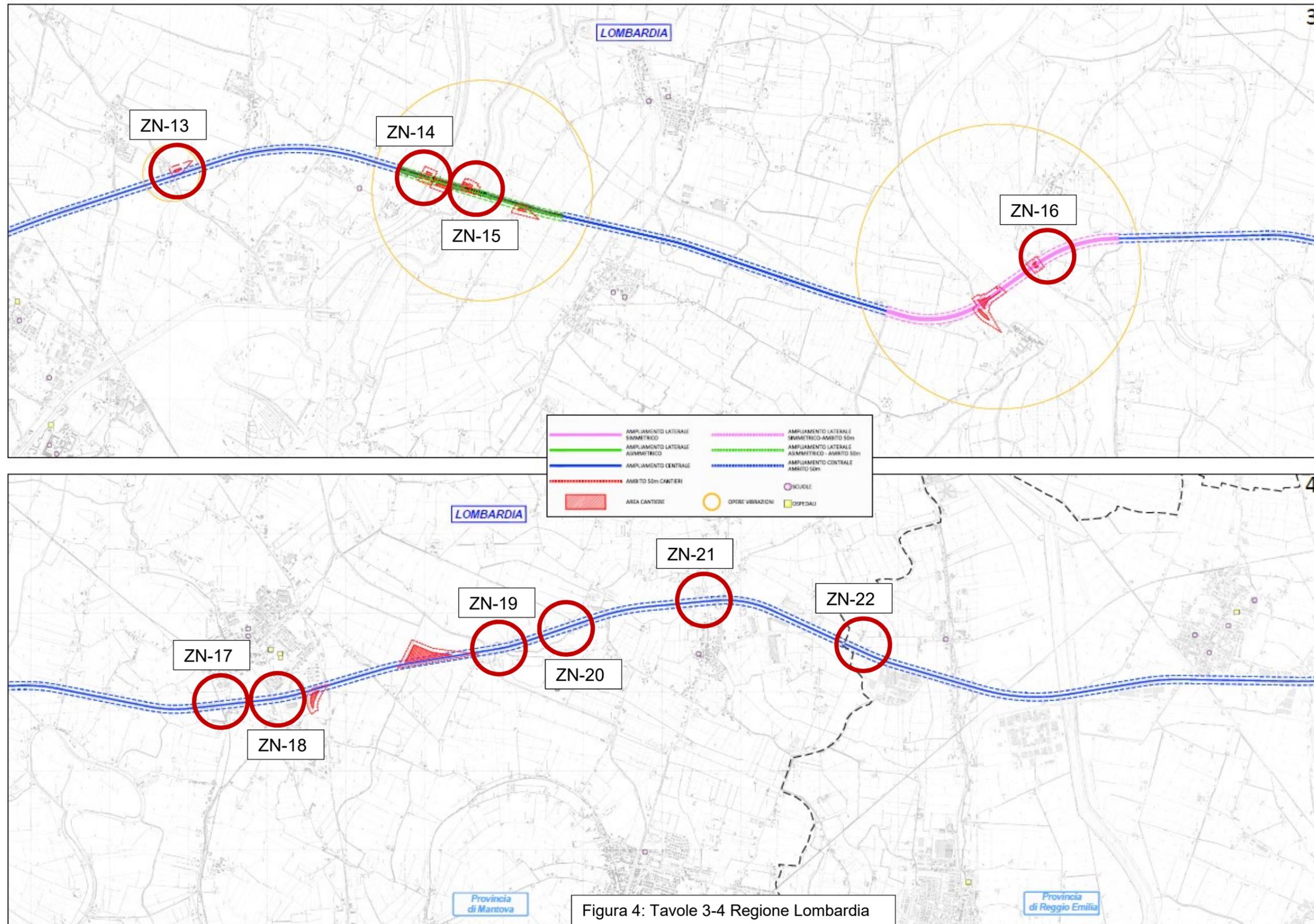
Nelle Tavole è riportato il tracciato autostradale sul quale sono evidenziate le differenti tipologie di FAL: colore viola = ampliamento laterale simmetrico, colore verde = ampliamento laterale asimmetrico, colore blu = ampliamento centrale con i relativi ambiti di ampiezza pari a 50 m tratteggiati.

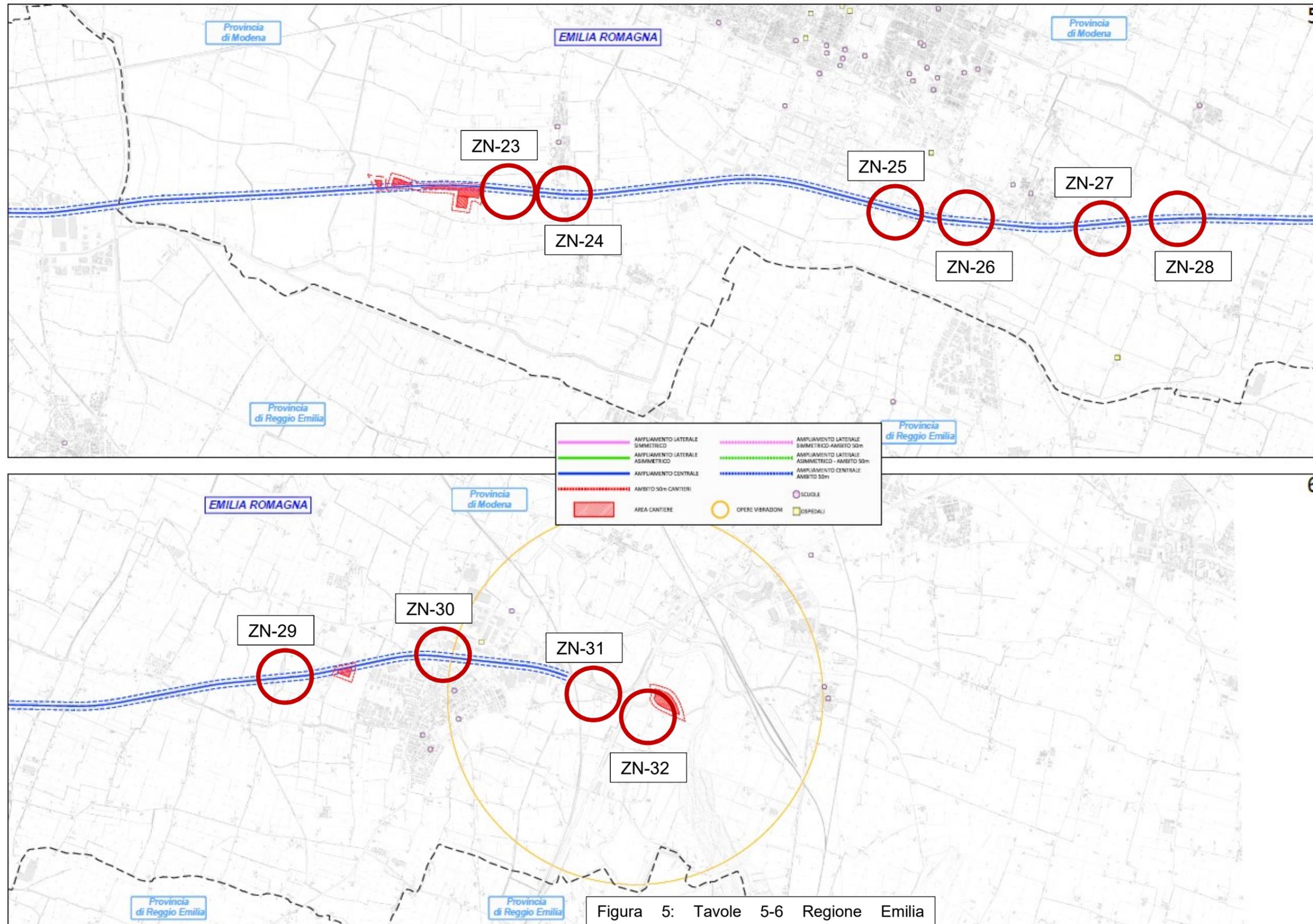
Sono inoltre riportate le aree di cantiere delimitate con retino di colore rosso ed il relativo ambito di ampiezza pari a 50 m oltre il confine cantiere tratteggiato. Nelle Tavole sono anche presenti gli ambiti in cui sono previste opere con emissioni marcate di vibrazioni, evidenziati con cerchio a contorno giallo. Sono indicati anche i ricettori sensibili quali scuole (cerchio viola) e ospedali (quadrato giallo).

Le 32 zone campione selezionate sono state evidenziate con cerchio a contorno rosso ed etichetta ZN-xx.

In **Tabella 16** sono riportate le indicazioni territoriali per identificare le 32 zone campione.









POSTAZIONE				SINTESI DELLA MISURA DI VIBRAZIONI
N°	Località	Regione	Progressiva	Prossimità
ZN-01	Lugagnano di Sonà (VR)	Veneto	224 + 800	Via Beccarie, canale Conagro, casello di Verona Nord A22
ZN-02	Dossobuono (VR)	Veneto	228 + 800	Svincolo A22-A4, Aeroporto Verona, raccordo con SS 62
ZN-03	Dossobuono (VR)	Veneto	229 + 450	Dossobuono, via Borgo Bello/via Cavour
ZN-04	Dossobuono (VR)	Veneto	230 + 300	Area industriale Maddalena, linea FS Modena-Verona
ZN-05	Alpo (VR)	Veneto	231 + 800	Alpo, via Carlo Alberto/via Luigi Bassani
ZN-06	Vigasio (VR)	Veneto	234 + 100	Sovrappasso della SP 52 sulla A22
ZN-07	Vigasio (VR)	Veneto	236 + 550	Via dei Ronchi
ZN-08	Vigasio (VR)	Veneto	238 + 450	Via Carbonara
ZN-09	Bagnolo (VR)	Veneto	243 + 350	Casello di Nogarole Rocca A22
ZN-10	San Giorgio Bigarello (MN)	Lombardia	252 + 000	Sovrappasso di via Maiardina sulla A22
ZN-11	San Giorgio Bigarello (MN)	Lombardia	253 + 650	Sovrappasso della SP 25 sulla A22
ZN-12	San Giorgio Bigarello (MN)	Lombardia	254 + 300	Sovrappasso di via Caselle sulla A22
ZN-13	Borgovirgiliana (MN)	Lombardia	258 + 600	Sovrappasso di strada Acque Alte sulla A22
ZN-14	Formigosa di Mantova (MN)	Lombardia	261 + 900	Tartaro Canalbianco Po di Levante
ZN-15	Formigosa di Mantova (MN)	Lombardia	262 + 500	Fiume Mincio
ZN-16	San Benedetto Po (MN)	Lombardia	270 + 450	Fiume Po
ZN-17	Pegognaga (MN)	Lombardia	275 + 600	Sottopasso linea FS Suzzara-Ferrara e sottopasso SP 52
ZN-18	Pegognaga (MN)	Lombardia	276 + 300	Sovrappasso della SP 42 (via Giuseppe Garibaldi) sulla A22
ZN-19	Bondeno di Gonzaga (MN)	Lombardia	279 + 350	Lago Cristallo, strada Comunale Curzia
ZN-20	Bondeno di Gonzaga (MN)	Lombardia	280 + 150	Lago La Perla, strada Comunale Marzette
ZN-21	Bondeno di Gonzaga (MN)	Lombardia	281 + 850	Sottopasso della Strada Comunale Zocca sotto la A22
ZN-22	Reggiolo (RE)	Reggio Emilia	284 + 100	Via Lovatino (300 m dal confine regionale)
ZN-23	Budrione di Carpi (MO)	Reggio Emilia	295 + 700	Via dei Morti
ZN-24	Budrione di Carpi (MO)	Reggio Emilia	296 + 500	Via Budrione Migliarino Est, cavalcavia di Budrione
ZN-25	Carpi (MO)	Reggio Emilia	301 + 200	Casello di Carpi A22
ZN-26	Carpi (MO)	Reggio Emilia	301 + 900	Casello di Carpi A22
ZN-27	Santa Croce di Carpi (MO)	Reggio Emilia	303 + 350	Via della Rosa Est
ZN-28	Gargallo di Carpi (MO)	Reggio Emilia	304 + 350	Via Beghetto
ZN-29	Panzano Campogalliano (MO)	Reggio Emilia	308 + 400	Sovrappasso della via Nacmani sulla A22
ZN-30	Campogalliano (MO)	Reggio Emilia	310 + 350	Sovrappasso della SP 13 sulla A22
ZN-31	Campogalliano (MO)	Reggio Emilia	312 + 700	Svincolo A22-A1, linea FS AV Milano-Bologna
ZN-32	Campogalliano (MO)	Reggio Emilia	313 + 400	Svincolo A22-A1

TABELLA 16: SELEZIONE PRELIMINARE DEL CAMPIONE DI ZONE POTENZIALMENTE CRITICHE

6.3 Scelta dei ricettori oggetto di monitoraggio

Nei giorni 12, 13 giugno 2023 e 19, 20 giugno 2023 è stata effettuata la visita ai luoghi corrispondenti alle 32 zone potenzialmente critiche per l'esposizione alle vibrazioni immesse nel corso delle attività di ampliamento a terza corsia dell'A22.

Nelle stesse date è stata effettuata la selezione delle aree effettivamente critiche, la scelta dei ricettori presso cui eseguire le misure di vibrazioni, il censimento degli edifici e l'esecuzione del monitoraggio delle vibrazioni.

L'approfondimento di campo degli elementi necessari a valutare gli impatti, unitamente alla possibilità di accedere alle proprietà per posizionare gli accelerometri in corrispondenza del piano verticale passante per le fondazioni, ha permesso di individuare n° 25 ricettori che sono risultati oggetto di censimento e monitoraggio delle vibrazioni.

Rispetto alle 32 zone del campione preliminare sono stati prescelti i seguenti ricettori:

- n° 1 ricettore (V-01) presso la zona ZN-01
- n° 5 ricettori (V-02, V-03, V-04, V-05, V-06) presso la zona ZN-03
- n° 1 ricettore (V-07) presso la zona ZN-04
- n° 1 ricettore (V-08) presso la zona ZN-05
- n° 1 ricettore (V-09) presso la zona ZN-06
- n° 1 ricettore (V-10) presso la zona ZN-10
- n° 1 ricettore (V-11) presso la zona ZN-12
- n° 1 ricettore (V-12) presso la zona ZN-14
- n° 1 ricettore (V-13) presso la zona ZN-16
- n° 1 ricettore (V-14) presso la zona ZN-17
- n° 1 ricettore (V-15) presso la zona ZN-18
- n° 1 ricettore (V-16) presso la zona ZN-19
- n° 1 ricettore (V-17) presso la zona ZN-20
- n° 1 ricettore (V-18) presso la zona ZN-21
- n° 1 ricettore (V-19) presso la zona ZN-22
- n° 1 ricettore (V-20) presso la zona ZN-24
- n° 1 ricettore (V-21) presso la zona ZN-27
- n° 1 ricettore (V-22) presso la zona ZN-29
- n° 1 ricettore (V-23) presso la zona ZN-30
- n° 1 ricettore (V-24) presso la zona ZN-31
- n° 1 ricettore (V-25) presso la zona ZN-32

I punti di misura ed i corrispettivi ricettori sono riportati nelle **Tavole "Localizzazione planimetrica delle misure di vibrazioni"** in scala 1:20.000, unitamente ad un riferimento fotografico dell'edificio. Le posizioni dei punti di misura sono altresì riportate in **Tabella 17**, unitamente alla sintesi delle tipologie di emissione delle vibrazioni delle lavorazioni prossime ai ricettori previste per la realizzazione della terza corsia (FAL, Cantieri).

Nella parte sinistra della Tabella per ciascun edificio (V-XX) viene indicata la destinazione d'uso e l'indirizzo, la posizione rispetto all'Autostrada A22 (progressiva km), la posizione assoluta (Latitudine, Longitudine) e la distanza minima dalla A22 considerata, nello scenario ante operam, sempre la sorgente principale.

Nella parte destra della Tabella vengono indicate le tipologie dei futuri cantieri prossimi al ricettore; per i FAL è evidenziata la tipologia (Laterale Asimmetrico, Laterale Simmetrico, Centrale) e la distanza minima dal ricettore, per i cantieri la denominazione, la distanza minima e il tipo di lavori che determinano l'emissione di vibrazioni.

Per una lettura agevolata della distribuzione sul territorio dei ricettori, la Tabella è suddivisa in tre campi orizzontali evidenziati da tratti in colore rosso corrispondenti alle 3



Regioni su cui si sviluppa il tracciato della A22 interessato dalle opere di ampliamento a terza corsia.



STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE – Aggiornamento 2020
Emissione/revisione Settembre 2023 per richiesta integrazioni M.A.S.E

POSTAZIONE		LOCALIZZAZIONE DEL RICETTORE						FAL		CANTIERE		
N°	Destinazione	Indirizzo	Località	Progressiva	LAT	LONG	Distanza A22	Tipologia	Distanza	N°	Distanza	Lavori vibrazioni
V-01	Residenziale	Via Beccarie 66	Lugagnano di Sonà (VR)	224 + 825	45° 26' 04"	10° 54' 17"	25 m	Laterale A	45 m	391	40 m	Ponte sul canale Conagro
V-02	Residenziale	Via Palazzine 4	Dossobuono (VR)	229 + 225	45° 23' 47"	10° 54' 33"	30 m	Laterale S	25 m			
V-03	Residenziale	Via Paolo Bembo 25	Dossobuono (VR)	229 + 315	45° 23' 44"	10° 54' 36"	30 m	Laterale S	25 m			
V-04	Industriale	BFT Medicali, via A. Volta 15	Dossobuono (VR)	229 + 440	45° 23' 41"	10° 54' 30"	40 m	Laterale S	35 m			
V-05	Residenziale	Via Borgobello, 30	Dossobuono (VR)	229 + 570	45° 23' 36"	10° 54' 30"	15 m	Laterale S	10 m	3CC, 3CE	20 m	Sovrappasso n. 86 - SS 62
V-06	Residenziale	Via Brigate Alpine 44	Dossobuono (VR)	229 + 565	45° 23' 36"	10° 54' 35"	45 m	Laterale S	40 m	3CC, 3CE	40 m	Sovrappasso n. 86 - SS 62
V-07	Industriale	Idro 3, Via Staffali 26	Dossobuono (VR)	230 + 040	45° 23' 21"	10° 54' 27"	50 m	Laterale S	45 m			
V-08	Residenziale	Via Carlo Alberto 1 e 3	Alpo (VR)	231 + 810	45° 22' 26"	10° 54' 53"	15 m	Centrale	25 m			
V-09	Residenziale	Via Bicello, 6	Vigasio (VR)	234 + 090	45° 21' 15"	10° 55' 13"	20 m	Centrale	30 m			
V-10	Residenziale	Via Villanova Maiardina 13	San Giorgio Bigarello (MN)	251 + 970	45° 12' 15"	10° 50' 45"	65 m	Centrale	75 m			
V-11	Residenziale	Via Caselle 5	San Giorgio Bigarello (MN)	254 + 275	45° 11' 02"	10° 51' 02"	30 m	Centrale	40 m			
V-12	Residenziale	Str. Riviera Mincio 3	Formigosa di Mantova (MN)	261 + 905	45° 07' 04"	10° 51' 56"	30 m	Laterale A	25 m	39E	50	Ponte sul Tartaro Canalbianco
V-13	Residenziale	Strada Crociare 2	San Benedetto Po (MN)	270 + 435	45° 02' 49"	10° 51' 02"	30 m	Laterale S	25 m			
V-14	Residenziale	Strada Viola Camatte, 24	Pegognaga (MN)	275 + 600	44° 59' 59"	10° 50' 58"	15 m	Centrale	25 m			
V-15	Residenziale	Via Gramsci 56, 58	Pegognaga (MN)	276 + 305	44° 59' 36"	10° 51' 04"	15 m	Centrale	25 m			
V-16	Residenziale	Str. Comunale Curzia, 5	Bondeno di Gonzaga (MN)	279 + 370	44° 57' 59"	10° 51' 32"	15 m	Centrale	25 m			
V-17	Residenziale	Strada Comunale Marzette, 23	Bondeno di Gonzaga (MN)	280 + 150	44° 57' 34"	10° 51' 39"	20 m	Centrale	30 m			
V-18	Residenziale	Strada Comunale Zocca, 11	Bondeno di Gonzaga (MN)	281 + 860	44° 56' 40"	10° 51' 55"	15 m	Centrale	25 m			
V-19	Residenziale	Via Lovatino, 21A	Reggiolo (RE)	284 + 080	44° 55' 33"	10° 51' 22"	15 m	Centrale	25 m			
V-20	Residenziale	Via Budrione Migliarino Est, 49	Budrione di Carpi (MO)	296 + 480	44° 48' 55"	10° 51' 04"	10 m	Centrale	20 m			
V-21	Residenziale	Via della Rosa Est, 38	Santa Croce di Carpi (MO)	303 + 350	44° 45' 16"	10° 50' 38"	10 m	Centrale	20 m			
V-22	Residenziale	Via Nacmani, 21, 23, 25	Panzano Campogalliano (MO)	308 + 405	44° 42' 33"	10° 50' 50"	15 m	Centrale	25 m			
V-23	Industriale	Via XXV Luglio, 6	Campogalliano (MO)	310 + 345	44° 41' 31"	10° 50' 59"	75 m	Centrale	85 m			
V-24	Residenziale	Via Bosco, 16	Campogalliano (MO)	312 + 725	44° 40' 17"	10° 50' 39"	100 m			3F3	150 m	Opere svincolo A22-A1
V-25	Residenziale	Via Madonna, 73	Campogalliano (MO)	313 + 420	44° 39' 58"	10° 50' 21"	245 m			3F3	60 m	Opere svincolo A22-A1

TABELLA 17: LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI DI MISURA E TIPOLOGIA EMISSIVA DELLE EMISSIONI DI CANTIERE



Dall'analisi della Tabella si evidenzia che n° 9 dei 25 edifici scelti per effettuare le misure di vibrazioni appartengono alla Regione Veneto (tutti in Provincia di Verona), n° 9 alla Regione Lombardia (tutti in Provincia di Mantova), n° 7 alla Regione Emilia Romagna (1 in Provincia di Reggio Emilia, 6 in Provincia di Modena). Sull'intero campione sono presenti 22 edifici a destinazione d'uso residenziale e 3 edifici industriali.

Escludendo V-10 e gli ultimi 3 ricettori V-23, V-24, V-25 la distanza minima dai cantieri con produzione di vibrazioni o dall'espansione più vicina dei FAL è compresa tra 10 m e 45 m. V-10 dista dal FAL (ampliamento Centrale) 75 m ed è stato scelto poiché è l'unico ricettore residenziale presente nell'area (Maiardina, San Giorgio Bigarello); V-24 e V-25 sono stati scelti poiché sono gli unici ricettori residenziali accessibili presenti nell'area a Nord e a Sud dello svincolo A22-A1 e distano rispettivamente 150 m e 60 m; V-23 è stato scelto poiché rappresentativo dell'area produttiva di Campogalliano e dista 85 m dal FAL (ampliamento Centrale).

La distanza dall'attuale infrastruttura autostradale (A22), escludendo V-23, V-24, V-25 è compresa tra 10 m e 65 m, con un valore medio di circa 25 m. V-23 (ricettore industriale) dista 75 m; V-24 e V-25 distano rispettivamente 100 m e 245 m.

6.4 Censimento e schedatura dei ricettori

Ciascuno dei ricettori oggetto di misura delle vibrazioni è stato censito e schedato.

I rilevamenti effettuati sono stati finalizzati a fornire un quadro esaustivo in merito agli aspetti elencati nel seguito.

Caratteristiche generali dell'edificio

Sono indicati:

- codice ricettore
- indirizzo
- coordinate geografiche (latitudine, longitudine)
- n° piani fuori terra ed interrati

oltre all'aggiunta di eventuale nota.

Destinazione d'uso

Tipologia della destinazione d'uso (12) eventualmente sovrapponibili.

Criticità e tipologie strutturali

Sono indicate:

- tipologia di struttura verticale
- tipologia di struttura orizzontale
- tipologia di fondazione
- stato di conservazione
- presenza di eventuali fessurazioni
- tipologia del terreno di fondazione

Inquadramento fotografico

Inquadramento generale per identificare l'edificio.

Descrizione edificio

Caratteristiche strutturali, stato di conservazione, criticità.

Verifica delle sorgenti di vibrazioni allo stato attuale (ante operam)

Per le sorgenti attuali sono indicati:

- tipologia di sorgente
- sorgente più significativa
- progressiva ricettore e distanza minima dalla sorgente
- dislivello base edificio/quota sorgente
- presenza discontinuità tra sorgente e ricettore

oltre all'aggiunta di eventuale nota.

Per le sorgenti future correlate all'attività di realizzazione della terza corsia A22:

- Tipologia del FAL
- Distanza minima FAL/ricettore
- Denominazione cantiere
- Distanza minima cantiere/ricettore
- Indicazione del tipo di lavorazione che produce vibrazioni

E' presente documentazione fotografica della sorgente maggiormente rilevante o per la quale il ricettore è più direttamente esposto, con una breve descrizione e l'indicazione se, nel tratto specifico, l'Autostrada A22 presenta o meno barriere antirumore.

Classificazione normativa

- verifica classificazione edificio secondo UNI 9614:2017
- verifica classificazione edificio e terreno di fondazione secondo UNI 9916
- verifica classificazione edificio secondo DIN 4150

Inquadramento planimetrico

- inquadramento satellitare generale
- localizzazione della postazione di misura ed orientamento degli assi X e Y della terna

Documentazione fotografica

N° 3 foto in cui si documenta la posizione della postazione di misura ed altri aspetti di inquadramento generale dell'immobile.

In **Allegato 1** sono riportate le schede di censimento dei 25 ricettori indagati.

6.5 Screening vibrazionale

In Italia non esiste una legge destinata a regolare l'ammissibilità di un disturbo vibrazionale e sono correntemente utilizzate le norme tecniche nazionali e internazionali:

- UNI 9614/2017 “Misura di vibrazioni negli edifici e criterio di valutazione del disturbo”
- ISO 2631-2 – “Valutazione dell'esposizione degli individui alle vibrazioni globali del corpo” - Parte 2: “Vibrazioni continue ed indotte da urti negli edifici”
- ISO/TS 10811-2:2000 – “Esposizione delle apparecchiature sensibili alle vibrazioni”

La norma di riferimento nazionale per l'esecuzione ed elaborazione dei dati scaturiti dal monitoraggio di vibrazioni è la UNI 9614:2017. La norma tecnica definisce il metodo di misurazione delle vibrazioni immesse negli edifici ad opera di sorgenti interne od esterne agli edifici e i criteri di valutazione del disturbo delle persone all'interno degli edifici stessi. La norma modifica in modo sostanziale la versione precedente, introducendo un approccio innovativo e profondamente diverso nelle modalità di valutazione dei disturbi da vibrazione. Essa fa riferimento alla ISO 2631-2:2003, prevalentemente per i metodi di misurazione e valutazione, ed alla norma norvegese NS 8176.E. Si applica a tutti i fenomeni che possono dare origine a vibrazioni negli edifici; a titolo esemplificativo e non esaustivo: traffico su gomma e su rotaia, attività industriali e funzionamento di macchinari, attività stradali e di cantiere di varia natura, esplosioni e scoppi, attività umane di qualsiasi natura.

Modalità di misura

Le modalità di misura adottate nello screening vibrazionale sono state mutuare da quanto previsto dalla norma UNI 9614/17 in merito alla misura delle vibrazioni residue negli edifici con lo scopo di pervenire ad una prima stima delle vibrazioni residue indotte dalle attuali sorgenti di vibrazioni in prossimità dei ricettori potenzialmente interferiti.

Il punto di misura è stato allestito in corrispondenza dei 25 ricettori selezionati per il monitoraggio (cfr. par. 6.3), in prossimità del fronte edificato più esposto alle attuali sorgenti (principalmente l'Autostrada A22, la viabilità stradale significativa in sovrappasso, sottopasso e affiancamento alla A22, le linee ferroviarie: cfr. par. 3.1).

Per la natura delle sorgenti considerate che si localizzano in corrispondenza del tracciato autostradale, i punti di monitoraggio risulteranno esposti maggiormente anche alle future attività dei FAL o dei cantieri.

La terna accelerometrica è stata allestita su basamento stabile, privo di discontinuità e presumibilmente il più possibile in continuità rispetto alla sorgente di vibrazioni ed al piano verticale passante per le fondazioni dell'edificio.

Strumentazione utilizzata

Le attività di monitoraggio sono state svolte con un sistema acquisizione dati così composto:

- Tablet PC Hewlett-Packard Compaq tc4200.
- Scheda di acquisizione dati National Instruments NI-9233 a 4 canali.

- Terna accelerometrica costituita da 3 accelerometri monoassiali Wilcoxon Research, Low Frequency Acc. 799LF, sensibilità 500 mV/g, accelerazione di picco 10g
- Massetto metallico per il fissaggio degli accelerometri

La calibrazione delle catene di misura è stata eseguita utilizzando il calibratore di vibrazioni Larson Davis 394 M26 operante alla frequenza 159.2 Hz e 1 g di accelerazione r.m.s.

Le analisi dei dati acquisiti sono state eseguite utilizzando il software N&V Works (ver. 2.10) della Spectra s.r.l., software 32 bit per windows per elaborazione e analisi dati di rumore e vibrazioni.

Il software consente l'importazione dei dati acquisiti dalla strumentazione di misura, il calcolo degli indici di riferimento con eventuali mascheramenti multipli, l'applicazione di pesature, l'analisi statistica, l'identificazione automatica degli eventi, la stampa con modelli grafici personalizzabili in archivi, la gestione di documenti integrati con grafici, testi, immagini, file video e file audio.

Sintesi dei risultati

I fenomeni vibrazionali monitorati risultano essenzialmente dovuti al traffico veicolare sulla A22 e sulla viabilità ad essa connessa, in particolare ai transiti dei mezzi pesanti sulle adiacenti Strade Statali, Regionali, Provinciali o altra viabilità significativa.

In taluni casi, ad esempio per il ricettore V-14, i fenomeni vibratorii possono essere dovuti al transito dei convogli ferroviari della linea Suzzara-Ferrara che tuttavia presenta un traffico rado, con un tempo medio dei passaggi pari a circa 61' dalle ore 6:50 alle 21:10.

I risultati delle misure effettuate nei giorni 12, 13 giugno 2023 e 19, 20 giugno 2023 sono riportati nella **Tabella 18**, nella quale vengono indicati i seguenti parametri:

- n° del ricettore oggetto di misura (V-XX)
- progressiva km
- coordinate geografiche di riferimento (Latitudine, Longitudine)
- data di svolgimento della misura
- ora di inizio e durata della misura
- accelerazione massima ($a_{w,max}$) ponderata sulla terna X, Y, Z (mm/s^2)
- scarto quadratico medio (SQM)
- accelerazione residua sul limite superiore SQM ($a_{w,95}$) ponderata X, Y, Z (mm/s^2)

In sede di analisi delle misure sono stati mascherati eventi rilevati in campo indotti da fenomeni locali estemporanei, quali il transito di veicoli o di persone in prossimità della postazione (generalmente sui piazzali e/o cortili interni), l'attivazione di impianti, le vibrazioni indotte da lavorazioni effettuate in prossimità dei ricettori.

Dall'analisi dei risultati si può verificare che i livelli di vibrazioni misurati sulle 25 postazioni di monitoraggio risultano essere generalmente di scarsa entità.

Facendo infatti riferimento all'accelerazione residua (ultima colonna della Tabella 18) e considerando che il limite normativo per abitazioni esposte nel periodo diurno indicato



dalla UNI 9614/2017 corrisponde a $7,2 \text{ mm/s}^2$, è possibile formulare le seguenti considerazioni:

- in tutte le postazioni il limite di accelerazione residua è ampiamente rispettato, ad esclusione del ricettore V-14 prossimo al viadotto dell'Autostrada A22 in sovrappasso alla linea ferroviaria Suzzara-Ferrara, in cui sono stati rilevati livelli pari a $8,60 \text{ mm/s}^2$.
- In corrispondenza delle rimanenti 24 postazioni i livelli misurati variano da un massimo di $6,60 \text{ mm/s}^2$ ad un minimo di $0,50 \text{ mm/s}^2$.
- Circa il 60% dei siti indagati presenta valori dei livelli di vibrazioni residue inferiori alla metà del valore limite diurno, circa 10% (V-12, V-16 e V-17) presentano valori inferiori ma più vicini al valore limite, nel 50% dei siti i valori sono risultati inferiori a 2 mm/s^2 .
- Escludendo V-12 ($a_{w,95} = 6,40 \text{ mm/s}^2$), V-16 e V-17 ($a_{w,95} = 5,70 \text{ mm/s}^2$), sui rimanenti 21 ricettori l'accelerazione residua varia tra $4,90 \text{ mm/s}^2$ (V-23) e $0,50 \text{ mm/s}^2$ (V-25).
- Il valore medio di accelerazione residua sull'intero campione di misura è pari a $2,68 \text{ mm/s}^2$ (un terzo del valore limite di legge), e scende a $1,84 \text{ mm/s}^2$ escludendo i 4 valori più alti del campione.

In **Allegato 2** sono riportate le schede delle misure di vibrazioni eseguite in corrispondenza dei 25 ricettori indagati.

POSTAZIONE				SINTESI DELLA MISURA DI VIBRAZIONI						
N°	Progressiva	LAT	LONG	Nome	Data	Ora inizio	Durata	$a_{w,max}$ (mm/s ²)	σ (SQM)	$a_{w,95}$ (mm/s ²)
V-01	224 + 825	45° 26' 04"	10° 54' 17"	V-01-V1-AO	12/06/23	14:20:00	10'	0,63	0,31	1,20
V-02	229 + 225	45° 23' 47"	10° 54' 33"	V-02-V1-AO	12/06/23	15:20:00	10'	0,37	0,18	0,70
V-03	229 + 315	45° 23' 44"	10° 54' 36"	V-03-V1-AO	12/06/23	15:56:38	10'	1,19	1,32	3,60
V-04	229 + 440	45° 23' 41"	10° 54' 30"	V-04-V1-AO	12/06/23	16:31:00	10'	2,00	0,56	3,02
V-05	229 + 570	45° 23' 36"	10° 54' 30"	V-05-V1-AO	13/06/23	8:45:00	10'	0,49	0,12	0,70
V-06	229 + 565	45° 23' 36"	10° 54' 35"	V-06-V1-AO	12/06/23	17:38:00	10'	1,00	0,78	2,40
V-07	230 + 040	45° 23' 21"	10° 54' 27"	V-07-V1-AO	12/06/23	18:23:00	10'	0,56	0,14	0,80
V-08	231 + 810	45° 22' 26"	10° 54' 53"	V-08-V1-AO	13/06/23	9:21:00	10'	0,55	0,11	0,70
V-09	234 + 090	45° 21' 15"	10° 55' 13"	V-09-V1-AO	13/06/23	10:15:00	10'	0,19	0,62	1,00
V-10	251 + 970	45° 12' 15"	10° 50' 45"	V-10-V1-AO	13/06/23	11:37:00	10'	0,86	0,54	1,80
V-11	254 + 275	45° 11' 02"	10° 51' 02"	V-11-V1-AO	13/06/23	12:20:00	10'	1,10	0,65	2,30
V-12	261 + 905	45° 07' 04"	10° 51' 56"	V-12-V1-AO	13/06/23	13:46:00	10'	2,85	1,95	6,40
V-13	270 + 435	45° 02' 49"	10° 51' 02"	V-13-V1-AO	13/06/23	15:08:00	10'	1,01	0,37	1,07
V-14	275 + 600	44° 59' 59"	10° 50' 58"	V-14-V1-AO	20/06/23	11:31:00	10'	4,02	2,55	8,60
V-15	276 + 305	44° 59' 36"	10° 51' 04"	V-15-V1-AO	20/06/23	12:20:00	10'	0,89	0,15	1,20
V-16	279 + 370	44° 57' 59"	10° 51' 32"	V-16-V1-AO	20/06/23	13:06:00	10'	3,01	1,48	5,70
V-17	280 + 150	44° 57' 34"	10° 51' 39"	V-17-V1-AO	20/06/23	13:44:00	10'	2,81	1,59	5,70
V-18	281 + 860	44° 56' 40"	10° 51' 55"	V-18-V1-AO	20/06/23	14:52:00	10'	1,61	0,62	2,70
V-19	284 + 080	44° 55' 33"	10° 51' 22"	V-19-V1-AO	20/06/23	15:44:00	10'	3,70	0,68	4,80
V-20	296 + 480	44° 48' 55"	10° 51' 04"	V-20-V1-AO	20/06/23	16:39:00	10'	0,60	0,12	0,80
V-21	303 + 350	44° 45' 16"	10° 50' 38"	V-21-V1-AO	20/06/23	17:36:00	10'	1,00	0,41	1,70
V-22	308 + 405	44° 42' 33"	10° 50' 50"	V-22-V1-AO	21/06/23	9:12:00	10'	2,79	0,46	3,60
V-23	310 + 345	44° 41' 31"	10° 50' 59"	V-23-V1-AO	21/06/23	11:36:00	10'	3,13	1,00	4,90
V-24	312 + 725	44° 40' 17"	10° 50' 39"	V-24-V1-AO	21/06/23	10:08:00	10'	0,59	0,26	1,10
V-25	313 + 420	44° 39' 58"	10° 50' 21"	V-25-V1-AO	21/06/23	10:44:00	10'	0,31	0,12	0,50

TABELLA 18: SINTESI DELLE MISURE DI VIBRAZIONI

7 MODELLO PREVISIONALE

7.1 Introduzione

La modellazione del comportamento del terreno sotto l'azione dinamica delle sorgenti rappresenta un problema di estrema complessità, da un lato per la difficoltà insita nella scelta di parametri rappresentativi del terreno, dall'altro per la conoscenza spesso sommaria della funzione di trasferimento sorgente/ricettore caratteristica dello stesso.

Il livello di vibrazione determinato nello spazio circostante da una sorgente eccitatrice è funzione della tipologia di sorgente e di una serie di attenuazioni dipendenti dalla forma della sorgente e dal tipo di onda considerata, dall'assorbimento del terreno, dall'eventuale presenza di discontinuità nello stesso e dal passaggio delle sollecitazioni dal terreno alle fondazioni.

La propagazione nel corpo dell'edificio è determinante sia per gli abitanti che per le strutture in quanto pavimenti, pareti e soffitti degli edifici sono soggetti a significative amplificazioni delle vibrazioni rispetto a quelle trasmesse dalle fondazioni. I problemi maggiori si verificano quando la frequenza propria dei solai coincide con la frequenza di picco dello spettro di vibrazione del terreno. In tali casi è anche possibile la comparsa di disturbo da rumore per re-irradiazione delle strutture.

Altri aspetti di complessità si aggiungono nei casi in cui gli edifici accolgono attrezzature e impianti sensibili alle vibrazioni.

7.2 Cenni generali sulla propagazione delle vibrazioni

Si distinguono tre principali tipi di onde che trasportano energia vibrazionale:

- Onde di compressione (onda P)
- Onde di taglio (onda S)
- Onde di superficie (orizzontali, onde R, e verticali, onde L)

I primi due tipi sono onde di volume ("body-waves"), mentre le onde di superficie, come dice il nome, si propagano sull'interfaccia fra due strati con diverse proprietà meccaniche, principalmente quindi sulla superficie di separazione fra terreno ed aria.

La Figura mostra schematicamente la modalità di propagazione dei diversi tipi di onde vibrazionali ed evidenzia che la velocità di propagazione dei diversi tipi non è la stessa: le onde di compressione (onde P) sono le più veloci, mentre le onde di taglio (S) e di superficie (R) viaggiano con velocità più basse, in dipendenza del valore del modulo di Poisson del terreno.

Il transito di una macchina operatrice di cantiere genera sia onde di corpo (compressione e taglio), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), in misura differente in relazione al tipo di infrastruttura.

Nel caso di opera su rilevato o a raso si può ragionevolmente assumere una importanza relativa maggiore per le onde di superficie, che possono essere considerate predominanti, rispetto a quelle di corpo, comunque non trascurabili. I coefficienti riportati nel seguito quantificano i fattori di importanza relativa tra i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno, in funzione della tipologia dell'infrastruttura.

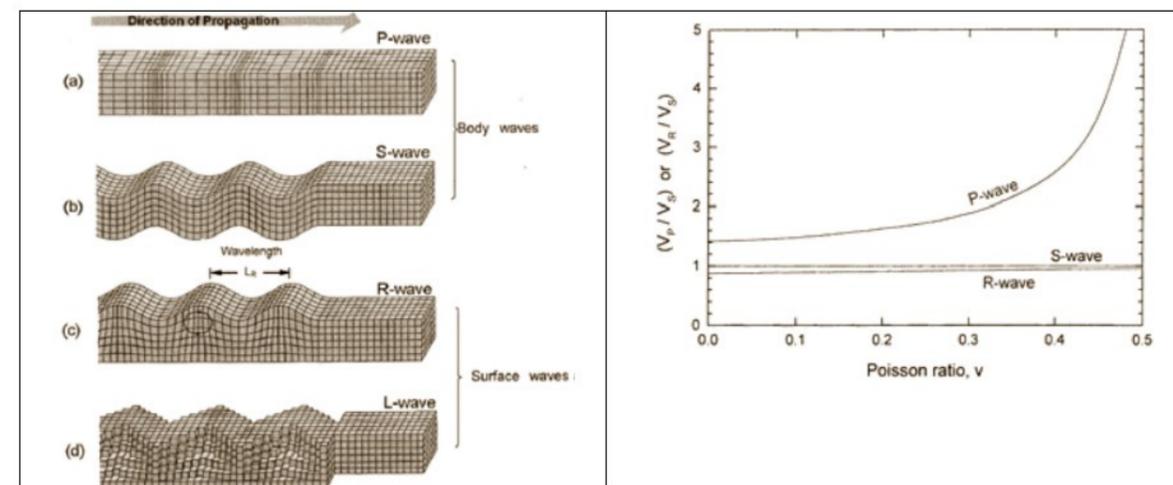


FIGURA 6: CARATTERISTICHE DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE VIBRAZIONALI

Tipo di onda	Tipo di Infrastruttura			
	Rilevato Raso	Trincea	Viadotto	Galleria profonda
Compressione..... (P)	$\beta_P = 0,20$	$\beta_P = 0,25$	$\beta_P = 0,35$	$\beta_P = 0,40$
Taglio (S)	$\beta_S = 0,20$	$\beta_S = 0,25$	$\beta_S = 0,35$	$\beta_S = 0,40$
Superficie..... (R)	$\beta_R = 0,60$	$\beta_R = 0,50$	$\beta_R = 0,30$	$\beta_R = 0,20$

FIGURA 7: FATTORI DI IMPORTANZA RELATIVA TRA I DIFFERENTI MECCANISMI DI PROPAGAZIONE

Nei successivi sotto paragrafi, sono esaminati in dettaglio i più importanti aspetti che influenzano il disturbo vibrazionale e che possono essere facilmente messi in conto in uno studio parametrico. Altri aspetti, pur importanti, non sono considerati in modo esplicito negli studi di previsione, in quanto di norma già messi in conto negli spettri sperimentali di riferimento, misurati in prossimità dell'armamento e che dovranno essere pertanto assunti come dati di partenza (input) nelle analisi di previsione.

7.3 Propagazione tra sorgente e ricettore

Il modello di propagazione impiegato, valido per tutti i tipi di onde, si basa sull'equazione di Bornitz (Richart Jr. FE, Hall Jr. JR, Woods RD. Vibrations of soils and foundations. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1970):

$$w_2 = w_1 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^n e^{-a(r_2-r_1)}$$

dove:

- w_1 e w_2 sono le ampiezze della vibrazione
- r_1 e r_2 distanze dalla sorgente,

- n è il coefficiente di attenuazione geometrica e dipende dal tipo di onda e di sorgente,
- α è il coefficiente di attenuazione del materiale e dipende dal tipo di terreno.

L'equazione tiene conto dei meccanismi di attenuazione geometrica e di dissipazione che l'onda vibrazionale subisce propagandosi nel terreno:

- attenuazione geometrica, in relazione al tipo di sorgente e di onda;
- attenuazione per dissipazione interna del terreno;
- attenuazione dovuta a ostacoli o discontinuità del terreno;
- attenuazione dovuta all'accoppiamento terreno-fondazione;
- attenuazione dovuta alla propagazione in direzione verticale nel corpo dell'edificio;
- amplificazione determinata dai solai.

7.3.1 Attenuazione geometrica del terreno

L'attenuazione geometrica è espressa dal termine:

$$w_2 = w_1 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^n$$

la sua applicazione implica che sia nota l'ampiezza della vibrazione w_1 alla distanza r_1 e sia definita la localizzazione e il tipo di sorgente (sorgente puntuale o lineare, in superficie o in profondità) e il tipo di onda vibrazionale (di volume o di superficie).

Nella tabella seguente vengono riportati i valori che il coefficiente di attenuazione geometrica assume in funzione del tipo di sorgente e di onda (Kim D-S, Lee J-S. Source and attenuation characteristics of various ground vibrations. In: Dakoulas P, Yegian M, Holtz B, editors. Geotechnical earthquake engineering and soil dynamics III. ASCE. Geotechnical Special Publication No. 75, 1998;2: 1507-17).

Values of attenuation coefficient due to radiation damping for various combinations of source location and type (from Ref. [9])

Source location	Source type	Induced wave	n
Surface	Point	Body wave	2.0
		Surface wave	0.5
	Infinite line	Body wave	1
		Surface wave	0
In-depth	Point	Body wave	1.0
	Infinite line		0.5

TABELLA8: VALORI DEL COEFFICIENTE DI ATTENUAZIONE GEOMETRICA

Considerando che, con riferimento all'ottenimento dei livelli massimi, si deve sempre prendere in considerazione una sorgente concentrata, si ha che l'esponente n vale 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, come nel caso di fondazione su pali).

7.3.2 Attenuazione dovuta al terreno

È espressa dal termine esponenziale dell'equazione di Bornitz e rappresenta i fenomeni di dissipazione di energia meccanica in calore.

Il coefficiente di attenuazione del materiale dipende dal tipo di terreno e cresce linearmente con la frequenza. Ciò fa sì che le alte frequenze si estinguano dopo un breve percorso, mentre le frequenze più basse si propagano a distanze maggiori.

Valori del coefficiente sono stati riportati da Woods e Jedele per quattro classi di terreno e per due bande di frequenza [Woods RD, Jedele LP. Energy-attenuation from construction vibrations. In: Gazetas G, Selig ET, editors. Vibration problems in geotechnical engineering. Special Publication of ASCE, 1985:229-46]. Si veda a proposito la tabella seguente.

Values of frequency dependent attenuation coefficient, a , for four classes of soil materials (from Ref. [19]).

Class	Material damping coefficient a (m^{-1})		Description of material
	5 Hz	50 Hz	
I	0.01–0.03	0.1–0.3	Weak or soft soils ($N_{SPT} < 5$)
II	0.003–0.01	0.03–0.1	Competent soils ($5 < N_{SPT} < 15$)
III	0.0003–0.003	0.003–0.03	Hard soils ($15 < N_{SPT} < 50$)
IV	< 0.0003	< 0.003	Hard, competent rock ($N_{SPT} > 50$)

FIGURA 9: VALORI DEL COEFFICIENTE DI ATTENUAZIONE DEL TERRENO

Yang ha proposto tuttavia l'uso di un coefficiente di attenuazione dell'energia a_0 indipendente dalla frequenza, correlato ad a dall'espressione:

$$a_0 = a/f \quad (f: \text{frequenza della vibrazione}).$$

I valori del coefficiente a_0 proposti da Yang per quattro tipi di terreno sono riassunti nella tabella seguente [Yang XJ. Evaluation of man-made ground vibrations. In: Prakash, S, editor. Proceedings of the Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, vol. III. St. Louis, MO, 1995. P. 1435-8].

Values of the frequency-independent attenuation coefficient, a_0 , for various soil groups (from Ref. [22])

Soil group	a_0 (s/m)
Rocks (covering layer within 1.5–2.0 m)	Shale, limestone (0.385–0.485) 10^{-3}
	Sandstone (0.580–0.775) 10^{-3}
Hard plastic clays	(0.385–0.525) 10^{-3}
Broke stones of medium density cobbles	(0.850–1.100) 10^{-3}
Plastic clays, Coarse sands and gravels of medium density	(0.965–1.200) 10^{-3}
Soft plastic clays, Silts, Slightly dense, Medium or coarse sands	(1.255–1.450) 10^{-3}
Silty clays, Silts and saturated fine sands	(1.200–1.300) 10^{-3}
Recently deposited clays and unsaturated loose sands	(1.800–2.050) 10^{-3}

TABELLA 10: VALORI DEL COEFFICIENTE DI ATTENUAZIONE DEL TERRENO INDIPENDENTI DALLA FREQUENZA

Il coefficiente di attenuazione può essere stimato anche attraverso l'equazione:

$$a = \frac{2\pi \cdot f \cdot \eta}{c}$$

dove:

- η è il fattore di perdita del terreno,
- c è la velocità di propagazione in m/s,
- f è la frequenza in Hz.

Il rapporto dipende 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 in CLS.

Per quanto riguarda la valutazione delle velocità di propagazione delle onde nel terreno (V_p , V_s e V_r) si può far riferimento alle seguenti relazioni.

Velocità di propagazione delle onde di compressione nel terreno:

$$V_p = \sqrt{\frac{E_d \times (1 - \nu_d)}{\rho \times (1 + \nu_d) \times (1 - 2 \times \nu_d)}}$$

Velocità di propagazione delle onde di taglio nel terreno:

$$V_s = \sqrt{\frac{G_d}{\rho}}$$

Velocità di propagazione delle onde di superficie nel terreno:

$$V_r \cong 0,90 \times \sqrt{\frac{G_d}{\rho}}$$

dove:

- E_d Modulo elastico normale dinamico in N/m^2 .
- G_d Modulo elastico tangenziale dinamico in N/m^2 .
- ν_d Coefficiente di contrazione o di Poisson dinamico.
- ρ Massa di volume del terreno (densità) in kg/m^3 .

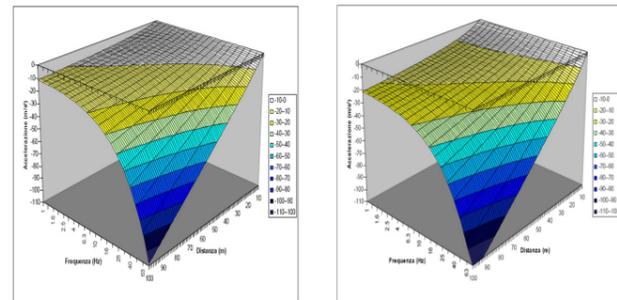
La velocità di propagazione delle onde orientativamente può assumere valori dell'ordine di:

VP = 1.500 m/s	per le onde di compressione in argilla
VP = 800 m/s	per le onde di compressione in terreno sciolto sedimentario
VP = 500 m/s	per le onde di compressione in sabbie e limi
VP = 1.800 m/s	per le onde di compressione in tufi
VP = 1.500 m/s	per le onde di compressione in gessi
VS = 150 m/s	per le onde di taglio in argilla
VS = 260 m/s	per le onde di taglio in terreno sciolto sedimentario
VS = 150 m/s	per le onde di taglio in sabbie e limi
VS = 600 m/s	per le onde di taglio in tufi

I valori tipici di densità e fattore di perdita, noti esclusivamente per alcune classi geologiche e in presenza di un ammasso omogeneo, sono riassunti in tabella:

TIPO DI TERRENO	DENSITA' [t/m ³]	FATTORE PERDITA η
Roccia compatta	2.65	0.01
Sabbia, limo, ghiaia, loess	1.6	0.1
Argilla, terreni argillosi	1.7	0.2÷0.5
Molasse	2.25	0.05
Scisti cristallini	2.25	0.05
Depositi alluvionali	1.83	0.05
Calcarei evaporitici	2.25	0.05

FIGURA 11: PARAMETRI DEL TERRENO



Attenuazione in funzione della frequenza e della distanza per onde superficiali
Attenuazione in funzione della frequenza e della distanza per onde di volume

FIGURA 12: ANDAMENTO DELLE FUNZIONI DI ATTENUAZIONE IN FREQUENZA IN FUNZIONE DELLA DISTANZA PER ONDE DI SUPERFICIE (SX) E ONDE DI VOLUME (DX)

7.3.3 Attenuazione dovuta alle discontinuità del terreno

Con riferimento alla propagazione di onde superficiali non si considera il caso di terreni stratificati, o della presenza di disomogeneità di vario genere che possono ostacolare o favorire la propagazione delle vibrazioni. A rigore, infatti, potrebbe essere necessario valutare anche l'attenuazione dovuta alla presenza di discontinuità nel terreno, per cui una quota di energia viene riflessa dalle superfici di discontinuità e non viene percepita al di là di esse.

In particolare, se l'eccitazione avviene al di sotto dello strato superficiale sovraconsolidato, l'interfaccia fra esso ed il terreno incoerente sottostante riduce l'ampiezza delle vibrazioni che riescono ad attraversare tale interfaccia.

L'attenuazione dovuta alle discontinuità del terreno può essere considerata in modo semplificato ammettendo che l'onda di compressione si sposti dal suolo "a" al suolo "c" e che incida perpendicolarmente alla superficie di separazione dei due mezzi:

$$A_i = 20 \cdot \log(F_r)$$

$$F_r = \left[\frac{1 + d_c \cdot c_c / d_a \cdot c_a}{2} \right]$$

dove:

- F_r è il fattore di attenuazione per riflessione;
- d_c, d_a = densità dei suoli "c" e "a"
- c_c, c_a = velocità di propagazione nei suoli "c" e "a"

F_r è sempre minore di 1 ed è legato al rapporto fra le impedenze dei due strati (l'impedenza è data dal prodotto fra la velocità di propagazione delle onde di taglio e la densità del materiale).

7.4 Propagazione nelle strutture edilizie

La propagazione delle vibrazioni negli edifici e la risposta di pareti e solai dipendono dalle caratteristiche costruttive dell'edificio. Al fine delle valutazioni è importante separare due aspetti fondamentali del fenomeno:

- l'interazione suolo-fondazioni;
- la propagazione nel corpo dell'edificio.

Il primo aspetto è legato al fatto che la mancanza di solidarietà all'interfaccia terreno-struttura dà luogo a fenomeni dissipativi, configurandosi come un fenomeno favorevole. Detto fenomeno è perciò condizionato dalla tipologia delle fondazioni (fondazioni a platea, fondazioni su plinti isolati, pali di fondazioni, ecc.).

Nel caso di fondazioni a platea la grande area di contatto con il terreno determina una perdita di accoppiamento praticamente di zero dB alle basse frequenze fino alla frequenza di risonanza della fondazione.

Per le altre tipologie di fondazioni possono essere utilizzate curve empiriche che consentono la stima dei livelli di vibrazione della fondazione in funzione dei livelli di vibrazione del terreno.

La propagazione nel corpo dell'edificio è determinante sia per gli abitanti sia per le strutture in quanto i pavimenti, pareti e soffitti degli edifici sono soggetti a significative amplificazioni delle vibrazioni rispetto a quelle trasmesse dalle fondazioni. In molti casi la risonanza delle strutture orizzontali può causare un'amplificazione delle vibrazioni nel campo di frequenze comprese tra 10 e 30 Hz. I problemi maggiori si verificano quando la frequenza di risonanza dei solai coincide con la frequenza di picco dello spettro di vibrazione del terreno.

Negli edifici multipiano un valore di attenuazione delle vibrazioni da piano a piano è approssimativamente pari a 3 dB. I risultati di misure sperimentali svolti da Ishii e Tachibana in un edificio a 10 piani fuori terra con struttura in calcestruzzo armato e acciaio mostrano un'attenuazione di circa 1 dB alle basse frequenze in corrispondenza dei piani alti e maggiore di 3 dB ai primi piani.

La norma DIN 4150 riferisce che, nel caso di vibrazioni orizzontali le frequenze proprie dei piani di un edificio seguono all'incirca la legge $f = 10/n$, essendo n il numero del piano. Per la componente verticale si hanno circa $f = 10$ Hz per pavimenti poco rigidi e $f = 30$ Hz per pavimenti molto rigidi. Gli incrementi per risonanza possono essere dell'ordine di 3÷8 volte, con rari casi di incrementi fino a 15 volte.

Risultati analoghi sono stati ottenuti nel corso di misure eseguite dalle Ferrovie Svizzere: generalmente si ha un'attenuazione nelle componenti orizzontali x e y ($f = 0\div 80$ Hz) tra suolo e piano terra degli edifici ma si verifica un'amplificazione della componente verticale z tra suolo e piano terra e suolo-primo piano.

Mediamente l'amplificazione sul pavimento è di 5 dB per frequenze di risonanza di circa 20 Hz, ma può arrivare anche a 20 dB nel caso del pavimento del piano terra con frequenza di risonanza di circa 40 Hz.

7.4.1 Accoppiamento terreno-edificio

La differenza tra il livello di vibrazione del terreno e quello delle strutture di fondazione è detta attenuazione per perdita di accoppiamento (coupling loss).

Dal punto di vista fondazionale, gli edifici possono essere classificati come edifici su fondazione diretta (plinti isolati o travi continue) ed edifici su fondazioni profonde (pali, pozzi, diaframmi, ecc).

La Figura seguente fornisce i valori sperimentali medi della perdita di accoppiamento in funzione della frequenza per fondazioni su pali nel terreno o su plinti di edifici in muratura, con o senza intelaiatura.

Per gli edifici con struttura portante verticale in muratura, in relazione alla maggiore massa, viene messa in conto una maggiore attenuazione pari a 2 dB. Per edifici con struttura portante verticale in acciaio, in relazione alla minore massa in gioco, viene messa in conto una riduzione di attenuazione, rispetto al caso di struttura portante in cemento armato, pari a 2 dB.

Per fondazioni a platea generale dato che la vibrazione della stessa può essere considerata simile a quella che si verificherebbe nel terreno senza la presenza della platea, la perdita di accoppiamento è zero alle basse frequenze fino alla frequenza di risonanza della platea.

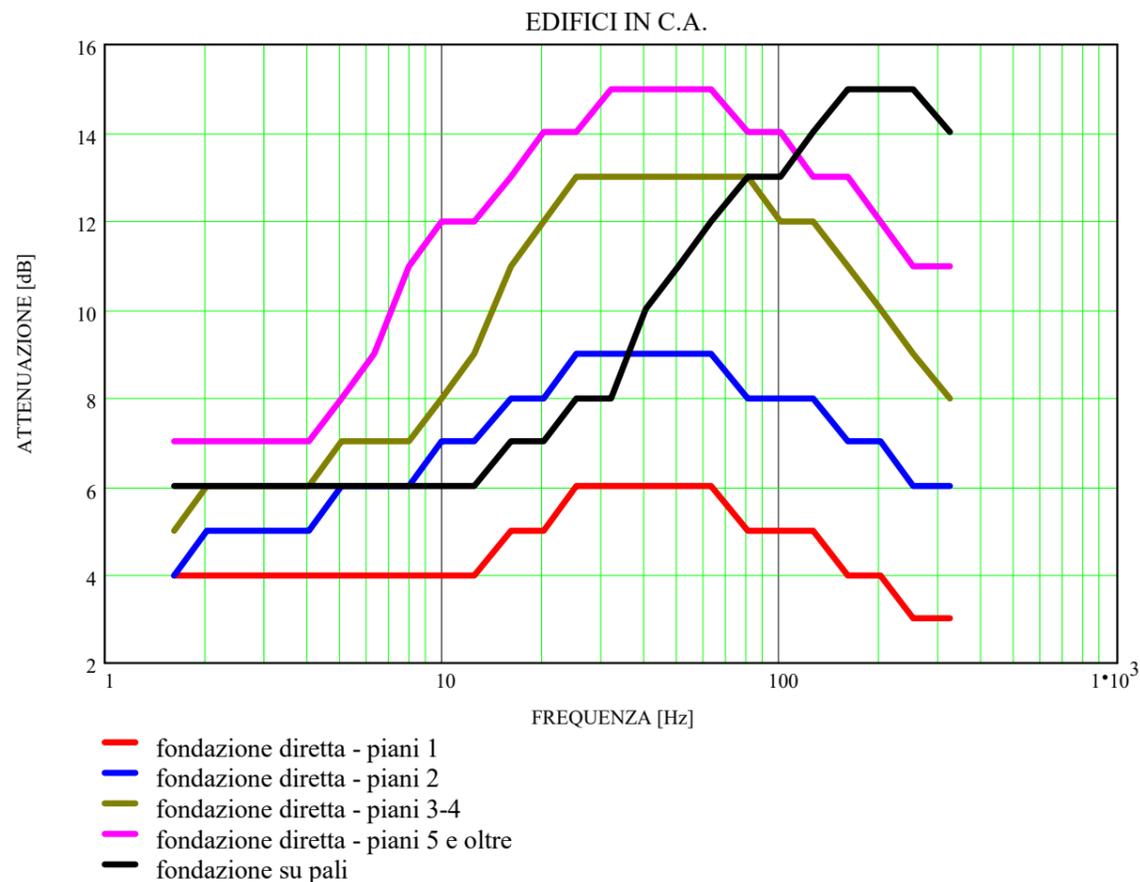


FIGURA 13: SPETTRI DI ATTENUAZIONE [dB] PER DIFFERENTI SISTEMI FONDAZIONALI

7.4.2 Attenuazione *interpiano all'interno degli edifici*

Le caratteristiche strutturali degli edifici che influiscono sulla propagazione delle vibrazioni trasmesse dal terreno alla fondazione vengono considerate composte da due componenti:

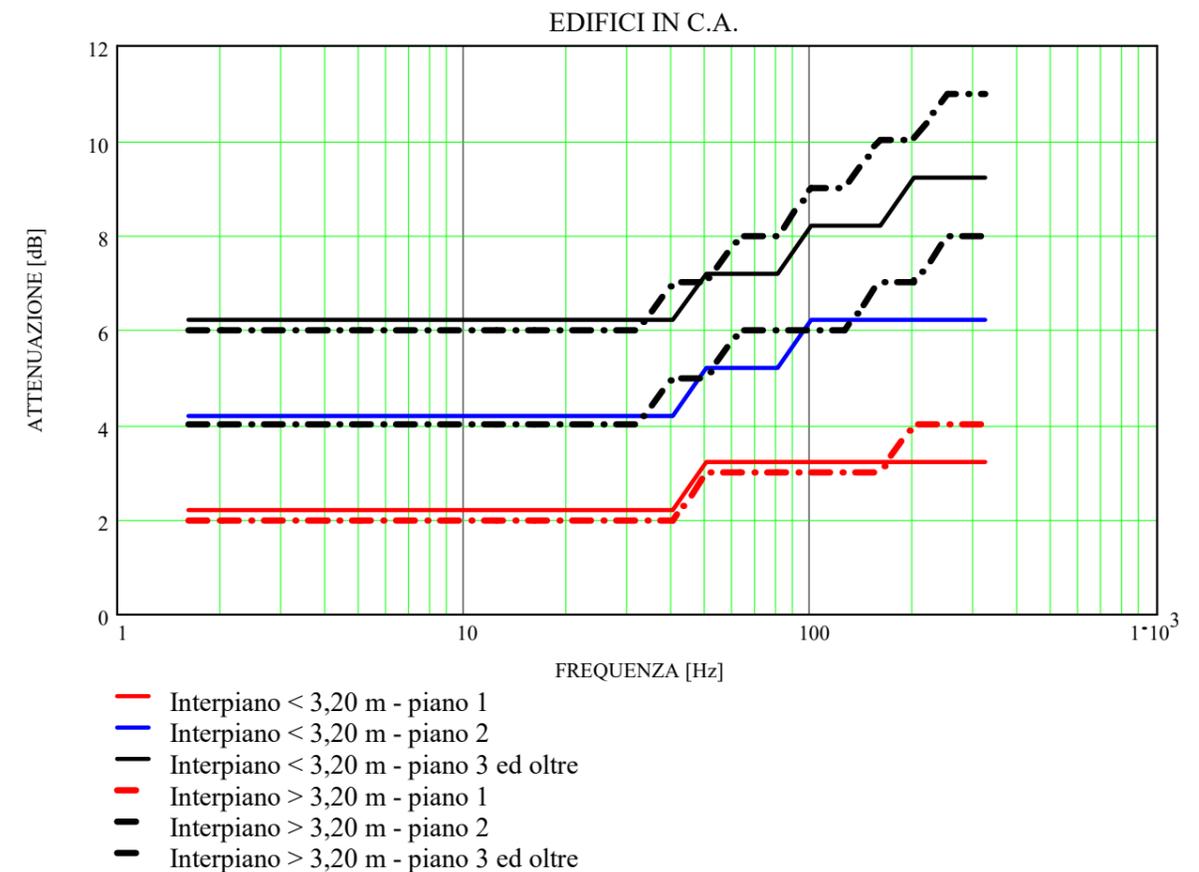
- propagazione da piano a piano;
- amplificazione degli orizzontamenti.

I due fenomeni comportano evidentemente due effetti contrari, il primo di attenuazione, il secondo di amplificazione. In relazione alle condizioni specifiche che caratterizzano gli immobili, uno dei due effetti può prevalere sull'altro, come pure i due effetti si possono elidere vicendevolmente.

In generale i fenomeni si differenziano in relazione al campo di frequenza in cui hanno specifica rilevanza.

Propagazione delle vibrazioni da piano a piano

Le vibrazioni, prevalentemente verticali in corrispondenza del sistema fondazionale dell'edificio, si propagano verso l'alto con una attenuazione progressiva da piano a piano. Tale attenuazione è fornita in Figura in funzione della frequenza per altezze di interpiano sino a 3.2 m e per 3 orizzontamenti. Il primo orizzontamento connota la posizione di minima attenuazione che viene considerata nelle verifiche previsionali.



DISTANZE [m] / LIVELLO EQ. DI ACCELERAZIONE aw	SPETTRO DI ATTENUAZIONE PER PROPAGAZIONE DA PIANO A PIANO (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
1° ORIZZONTAMENTO	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3			
2° ORIZZONTAMENTO	-4	-4	-4	-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			

FIGURA 14: SPETTRI DI ATTENUAZIONE [dB] PER PROPAGAZIONE DA PIANO A PIANO

Amplificazione dei solai

Per ciò che riguarda la propagazione delle vibrazioni nel corpo della struttura i problemi maggiori riguardano i solai: la vibrazione può essere amplificata in corrispondenza della frequenza fondamentale degli orizzontamenti, che dipende dalla luce del solaio e dalla loro tipologia costruttiva.

L'amplificazione dei solai spazia in un ambito che va da 5 dB per frequenze proprie di circa 20 Hz a valori limite di 20 dB per frequenze proprie di circa 40 Hz. Le frequenze proprie degli orizzontamenti più diffusi si situano tra 10 Hz e 20 Hz.

Per le frequenze orizzontali, come già citato, la norma DIN 4150 suggerisce di calcolare le frequenze proprie ai vari piani con la formula $10/n$ dove "n" è il numero del piano.

Per le frequenze connesse a modi verticali, la frequenza propria di un solaio si può esprimere come:

$$f_{propria} = \sqrt{(k/m)}$$

dove "k" viene assunto approssimativamente come la rigidità per carichi concentrati in mezzera ed "m" come la massa della striscia di solaio considerata (il calcolo preciso proviene dalla risoluzione di un integrale di Duhamel).

Aggiungendo l'ipotesi di sezione del solaio rettangolare e sostituendo i valori si trova:

$$f_{propria} = \text{cost} \cdot \sqrt{r} \cdot \sqrt{(E/\rho) \cdot h/L^2}$$

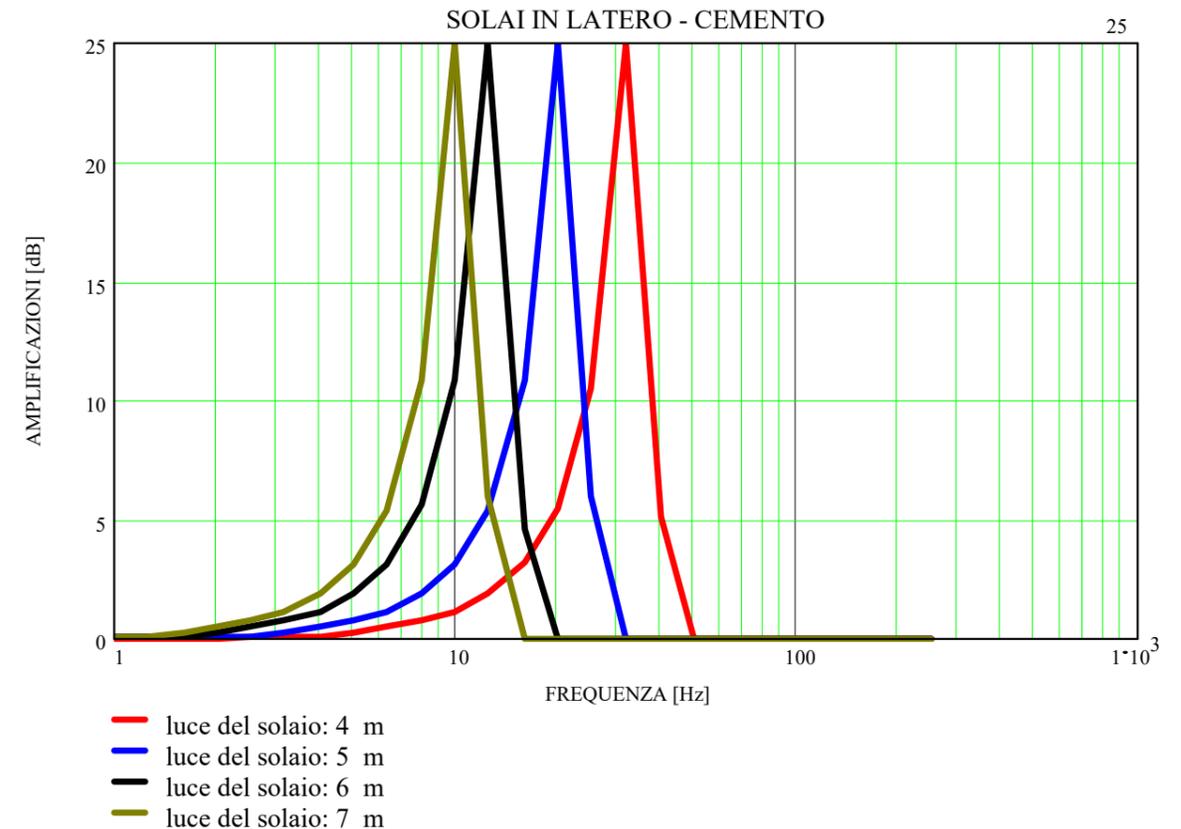
essendo:

- r un coefficiente che assume valori compresi tra 48 per solai semplicemente appoggiati e 192 per solai perfettamente incastrati,
- E il modulo di elasticità del materiale,
- h lo spessore del solaio,
- ρ il peso specifico del materiale,
- L la luce del solaio.

Nella figura seguente sono riportati – a titolo esemplificativo – gli spettri di amplificazione attesi per orizzontamenti in latero-cemento di classico dimensionamento per differenti luci. Le curve tabellate fornite dalla letteratura indicano che non sono attese amplificazioni per le componenti in frequenza superiori a 50 Hz.

Nel caso di struttura portante orizzontale in acciaio e legno, sono messe in conto, in relazione ai minori smorzamenti strutturali che caratterizzano tali materiali costruttivi,

maggiori amplificazioni, dell'ordine del 10 % e del 20 % rispettivamente per acciaio e legno.



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	1.5	2.6	4.4	8.4	20	4.1									
luce da 5 m	4.3	8.7	20	4.8											
luce da 6 m	20	3.7													
luce da 7 m	4.8														

FIGURA 15: SPETTRI DI AMPLIFICAZIONE [dB] DEGLI ORIZZONTAMENTI

7.5 Livelli di rumore solido all'interno degli edifici

Il rumore solido all'interno degli edifici è il risultato delle onde acustiche irradiate dalle superfici della stanza, includendo le pareti, i pavimenti, i soffitti e tutti gli altri elementi normalmente presenti quali finestre, porte, ecc.

La relazione tra le ampiezze di vibrazione delle superfici della stanza ed i livelli di pressione sonora

all'interno dello stesso locale, è funzione del valore medio del coefficiente di efficienza di irradiazione acustico (σ) e del coefficiente di assorbimento acustico (α) che caratterizzano

le superfici, della dimensione e forma della stanza e della distribuzione ed entità del campo di vibrazione sulle superfici vibranti (principalmente solai).

Studi basati su considerazioni teoriche e soprattutto su rilievi sperimentali, hanno consentito di formulare la seguente relazione che lega i livelli di pressione sonora con i livelli di vibrazione presenti sulle superfici irraggianti:

$$L_p(f_j) = L_{v,rs}(f_j) - 10 \times \log[(A) / (4 \times S_{vib})] + 10 \times \log(\sigma) = L_{v,rs}(f_j) - K_{rs}$$

con:

- $L_p = 20 \times \log(P/P_o)$ Livello di pressione sonora (dBre $\rightarrow P_o = 20 \mu Pa$)
- $L_{v,rs} = 20 \times \log(V/V_{o,rs})$ Livello di vibrazione in termini di velocità per rumore solido (dBre $\rightarrow V_{o,rs} = 50 \text{ nm/s}$)
- f_j Frequenza per la componente j-esima
- σ Coefficiente di efficienza di irradiazione
- S_{vib} Superficie del locale interessata alle vibrazioni
- $A = \sum_i \alpha_i S_i = \alpha_{medio} \times S$ Assorbimento acustico totale delle superfici del locale
- $S = \sum_i S_i$ Superficie totale del locale
- α_i Coefficiente di assorbimento acustico della parete i-esima
- $\alpha_{medio} = A / S$ Coefficiente di assorbimento acustico medio delle pareti

La costante acustica relativa al rumore solido è quindi un valore caratteristico del locale indagato:

$$K_{rs} = - 10 \times \log[(A) / (4 \times S_{vib})] + 10 \times \log(\sigma)$$

Attraverso la correlazione tra il livello di pressione sonora (L_p) e il livello di vibrazione in termini di velocità per il rumore solido ($L_{v,rs}$) è possibile una valutazione sperimentale della costante acustica relativa al rumore solido (K_{rs}). In ogni caso valori attesi di K_{rs} per una comune stanza abitata sono valutabili mettere in conto:

- $\sigma = 0,8 \div 1,2$ Coefficiente di efficienza di irradiazione
- $\alpha_{medio} = 0,1 \div 0,3$ Coefficiente di assorbimento acustico medio delle pareti
- $S_{vib} / S = 1/4 \div 1/6$ Rapporto tra le superfici; in genere rapporto tra $1/2$ soffitto più $1/2$ pavimento
- S Superficie totale (soffitto più pavimento, più pareti)

In tale ipotesi:

$$K_{rs} = 2 \div 12 \text{ dB}$$

Le relazioni, tra i livelli di rumore solido e i livelli vibrazionali, sono pertanto date dalle:

$$L_p(f_j) = L_{v,rs}(f_j) + K_{rs}$$

$$L_p(f_j) = L_{v,rs}(f_j) + K_{rs} - 34 \text{ dB}$$

$$L_p(f_j) = L_a(f_j) + K_{rs} - 20 \times \log(f) + 10 \text{ dB}$$

Essendo:

- $L_v = 20 \times \log(V/V_o)$ Livello di vibrazione in termini di velocità (dBre circa $V_o = 1 \text{ nm/s}$)
- $L_a = 20 \times \log(A/A_o)$ Livello di vibrazione in termini di accelerazione (dBre circa $A_o = 1 \mu m/s^2$)

A partire dallo spettro relativo ai livelli di rumore solido così calcolato, si calcola quindi il valore efficace della pressione sonora attraverso la messa in conto di tutte le componenti spettrali (radice quadrata della somma dei quadrati delle singole componenti) e considerando la curva di ponderazione A:

$$L_{p,A} = 10 \times \log \left[\sum_j 10^{\frac{L_p(f_j) - C_A(f_j)}{10}} \right]$$

Essendo:

- $C_A(f_j)$ curva di ponderazione A (W_A) (ISO 1999 e CEI-IEC 651)
- $f_j = 1 \div 400 \text{ Hz}$ campo di frequenza previsto per la valutazione dei livelli di rumore solido re-irraggiato.

Da ultimo si sottolinea che la relazione precedente si riferisce ai livelli sonori indotti negli edifici come effetto delle vibrazioni originate dal transito dei treni. Pertanto i livelli acustici globali rilevabili all'interno degli edifici, che sono ovviamente influenzati anche da altre sorgenti sonore, possono differire significativamente dai valori stimati attraverso la relazione precedente.

Il livello di rumore solido è – in linea di principio – da «sommare» al rumore aereo presente nell'edificio al fine di stimare l'effettivo incremento del rumore complessivo dovuto al rumore solido e quindi la sua reale importanza in relazione alla situazione specifica.

Studi basati su considerazioni teoriche e soprattutto su rilievi in sito hanno consentito di formulare la seguente relazione sintetica che lega i livelli di pressione sonora con i livelli di vibrazione in accelerazione rilevabili in corrispondenza dell'orizzontamento della stanza:

$$L_p = L_a - 20 \cdot \log(f) + 16$$

dove:

- L_p : livello di pressione sonora in dB (0 dB = 20 μPa)
- L_a : livello di vibrazione di accelerazione all'orizzontamento in dB (0 dB = 1 μg)
- f : frequenza per bande a terzi di ottava in Hz



La norma NT ACOU 033, che definisce i criteri di misura in laboratorio dell'efficienza di radiazione di un divisorio, riporta una formula approssimata analoga a quella precedentemente indicata:

$$L_p = L_a - 20 \cdot \log(f) + 17,2$$

La relazione fornisce valori attesi che vanno interpretati tenendo presente la natura della formulazione stessa, che ovviamente non può tenere conto delle specifiche caratteristiche di ogni distinto locale (alfa di sabine medio, la presenza di finestrate di notevole ampiezza, ecc.).

Inoltre, occorre considerare che la presenza di componenti vibratorie particolarmente basse (10-30 Hz) potrebbe introdurre anche altre sorgenti di rumore connesse con fenomeni di micro-urti tra oggetti nel locale quali stoviglie e suppellettili non particolarmente stabili.

Da ultimo si sottolinea che la relazione precedente si riferisce ai livelli sonori indotti negli edifici come effetto delle vibrazioni originate dalla sorgente considerata. Pertanto, i livelli di rumore complessivi rilevabili all'interno degli edifici, che sono ovviamente influenzati da altre sorgenti di rumore, possono differire significativamente dai valori stimati.

Il livello di rumore solido è – in linea di principio – da «sommare» al rumore aereo presente nell'edificio al fine di stimare l'effettivo incremento del rumore complessivo dovuto al rumore solido e quindi la sua reale importanza in relazione alla situazione specifica.

8 PREVISIONI DI IMPATTO

8.1 Emissioni di riferimento per lo studio previsionale

Le emissioni di vibrazione in fase di costruzione sono ampiamente variabili in relazione al tipo di attrezzatura/macchina operatrice impiegata, al contesto di utilizzazione e all'operatore. Nel presente studio sono stati utilizzati dati di fonte bibliografica e dati acquisiti nel corso di misure svolte in cantieri di grandi opere realizzate in Italia.

Per quanto riguarda i dati bibliografici, il riferimento è al volume L.H. Watkins - "Environmental impact of roads and traffic" - Appl. Science Publ., che alle pagine 231-241, riporta dati sperimentali sull'emissione di vibrazioni da parte di svariati tipi di macchine da cantiere, utilizzate nelle costruzioni stradali e ferroviarie. Da tale raccolta di dati sono stati estratti gli spettri di emissione delle macchine riportate nella Tabella seguente.

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

TABELLA 19: SPETTRI DI ACCELERAZIONE IN mm/s^2 (DATI DA LETTERATURA)

Nella tabella seguente vengono riassunti i risultati dei livelli di vibrazione in frequenza rilevati nel corso di misure sperimentali svolte per cantieri di infrastrutture di trasporto stradali e ferroviarie.

Hz	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
Scapitozzatura – Distanza di riferimento 2 m																				
dB	58.1	55.3	61.9	67.2	62.1	49.2	48.6	47.2	50.4	49.5	58.3	48.0	55.1	67.8	66.8	88.5	81.3	102.4	116.8	106.2
Perforazioni con sonde – Distanza di riferimento 3 m																				
dB	77.1	62.2	74.6	74.5	76.9	66.4	63.3	62.6	70.9	75.3	83.7	81.8	92.0	84.8	89.1	99.6	96.0	109.2	101.6	107.9
Compattazione – Distanza di riferimento 2 m																				
dB	74.9	77.5	75.8	75.0	76.2	77.8	76.3	76.7	77.7	79.2	81.9	96.2	91.0	82.6	96.1	90.6	104.0	97.4	97.6	96.1

TABELLA 16: SPETTRI DI ACCELERAZIONE IN dB (DATI SPERIMENTALI)

Nelle Figure seguenti sono infine riportati gli spettri di emissione tra 1 Hz e 80 Hz misurati a distanza di 10-20 m dalla lavorazione, con sovrapposta la curva limite di percezione ISO.

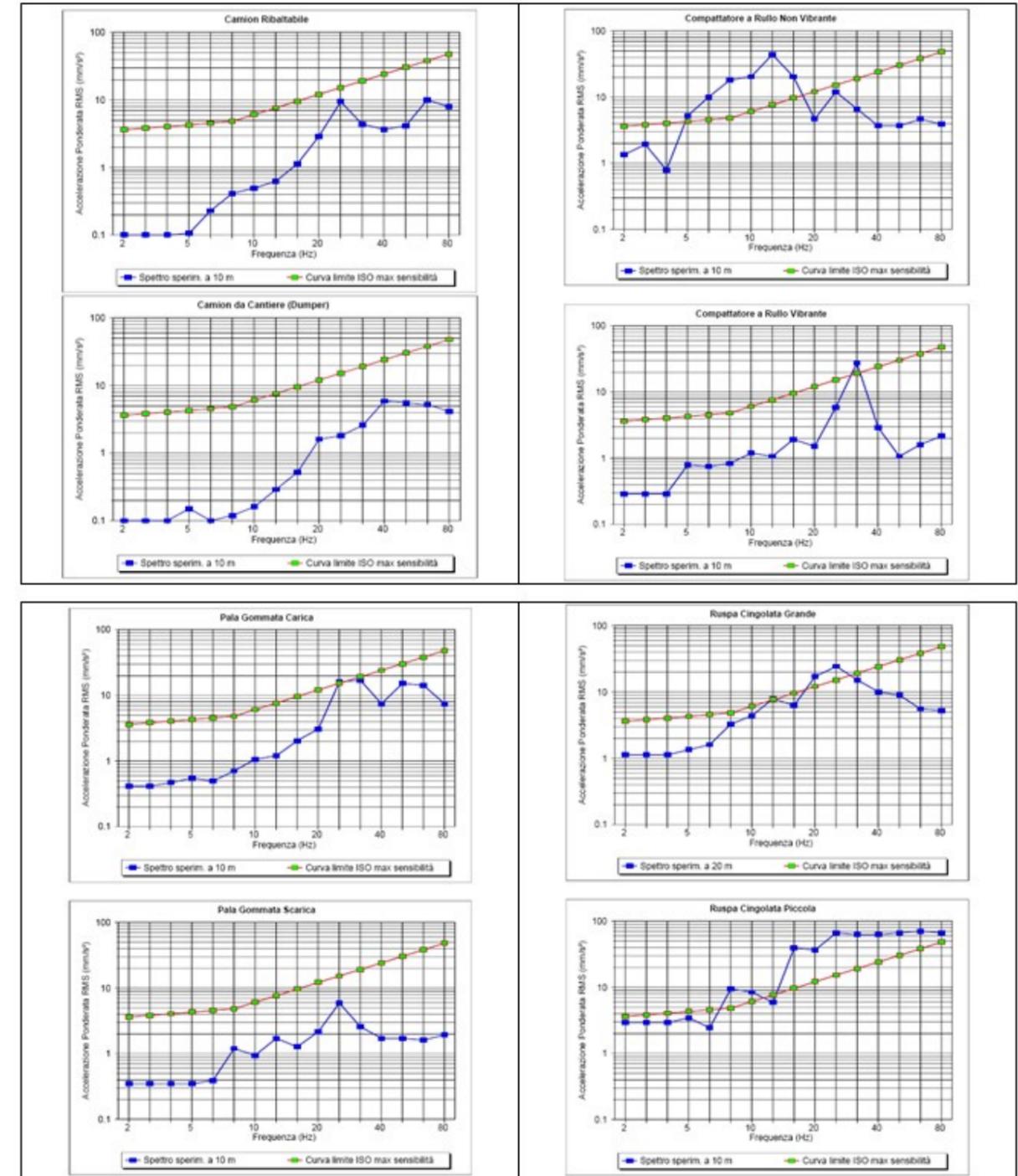


FIGURA 17: SPETTRI DI ACCELERAZIONE E CURVA LIMITE ISO MAX SENSIBILITÀ

Infine, nelle figure seguenti sono proposte le Time History e lo spettro rilevato per singolo asse, nonché la Time History elaborata per assi combinati postura non nota relativa alla realizzazione dei pali e allo scavo con benna mordente.

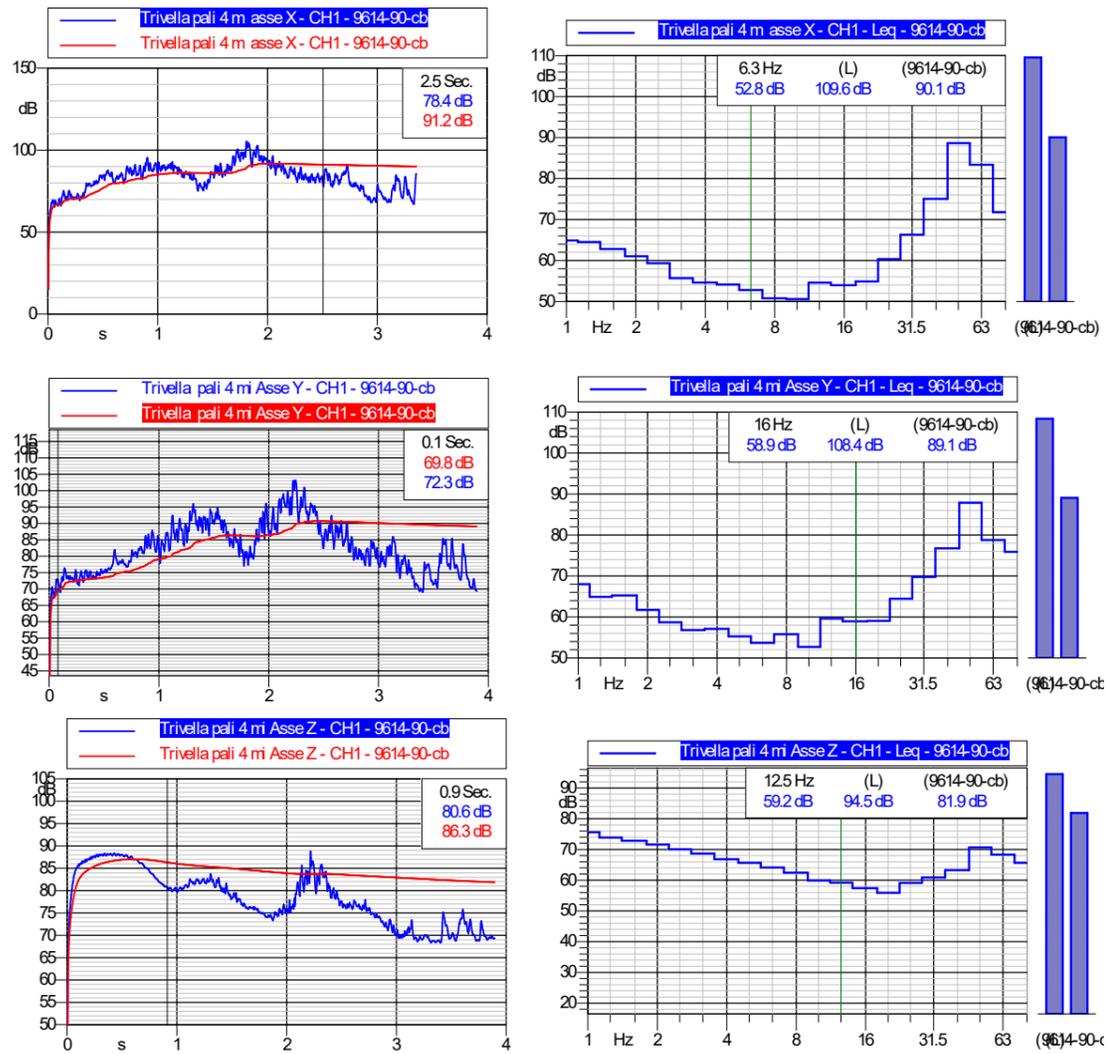


FIGURA 18: RILIEVO SPERIMENTALE REALIZZAZIONE PALI DI FONDAZIONE CON TECNICA TRADIZIONALE

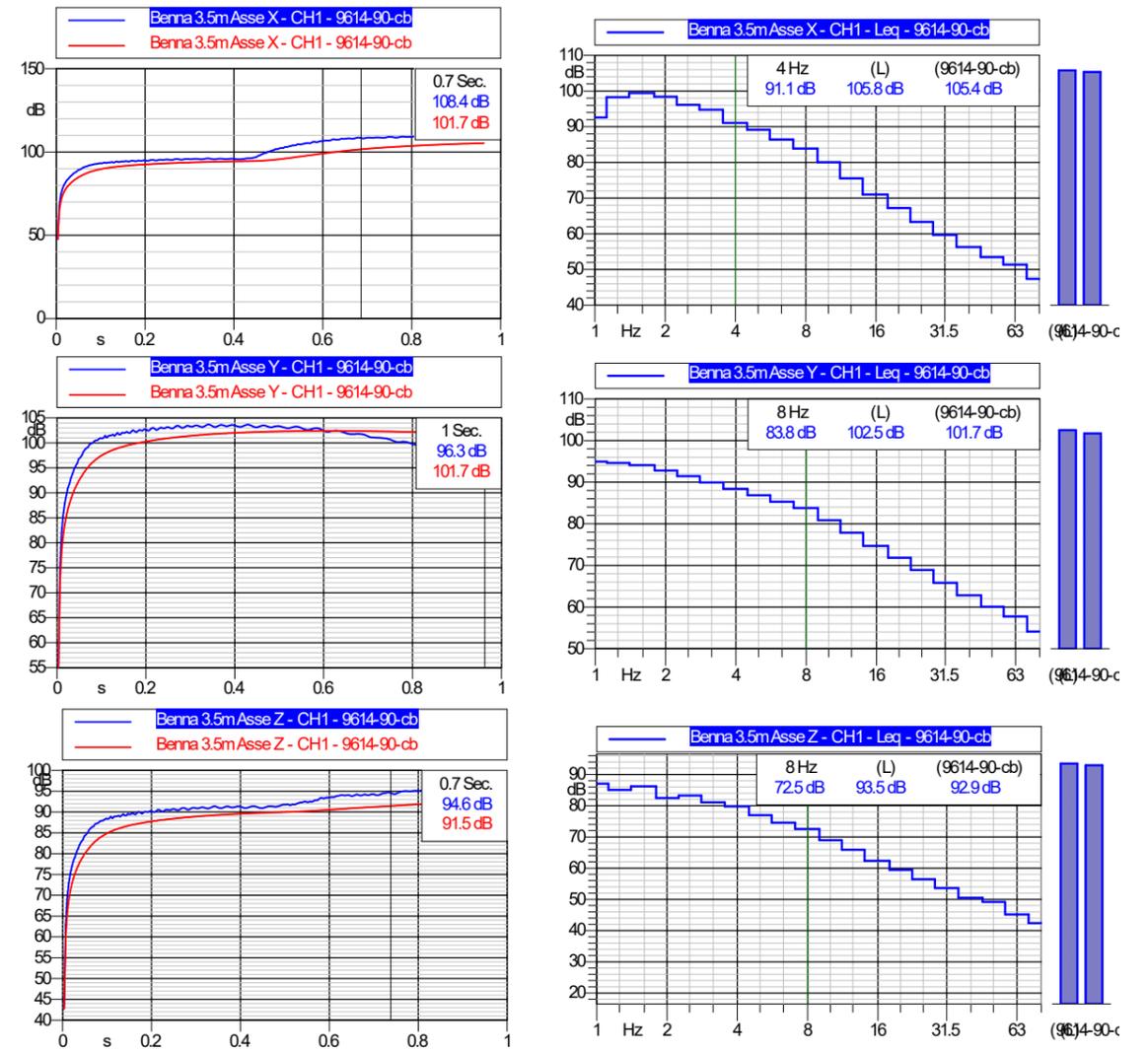


FIGURA 19: RILIEVO SPERIMENTALE SCAVO CON BENNA MORDENTE

Perforazioni con trivella ad elica continua

Nella **Tabella 20** sono riportati i livelli massimi di velocità di vibrazione misurati ad una distanza di 4 m dalla lavorazione in direzione ortogonale utilizzabili come dati di emissione delle perforazioni con trivella.

Profondità dalla superficie della trivella [m]	Livello massimo di vibrazione misurato [mm/s]	Frequenza caratteristica [Hz]
0-1.0	0.3	36
1.0-2.0	0.4	25
2.0-2.5	0.4	25
2.5-3.0	0.5	42
3.0-3.5	0.9	28
3.5-4.0	0.8	31
4.0-4.5	0.5	25
4.5-5.5	0.5	19
5.5-6.0	0.4	25
6.0-6.5	0.4	42
6.5-7.0	0.2	31

TABELLA 20: LIVELLI MASSIMI VIBRAZIONI IN FUNZIONE DELLA PROFONDITÀ DI SCAVO

Piste di cantiere

Le emissioni di vibrazioni al transito di mezzi d'opera sono sostanzialmente correlate alla velocità di transito e alla presenza di discontinuità del piano di rotolamento.

Una pista in stabilizzato compattato e priva di discontinuità, buche, avvallamenti, ecc. origina, a 5 m dall'asse di transito, livelli di vibrazione dell'ordine di 10 e 15 mm/s², riscontrabili nella figura seguente a sx. Valori inferiori sono ottenibili con piste pavimentate percorse a bassa velocità (20-30 km/h).

Nel caso di piste con significative discontinuità del piano stradale si raggiungono, come visualizzato nella figura di dx, valori molto più alti dell'ordine di 80 e 115 mm/s².

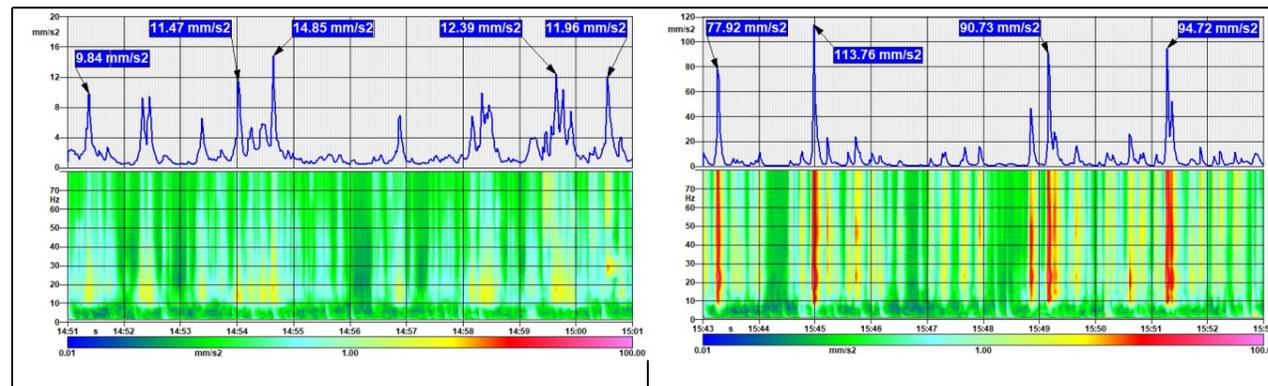


FIGURA 20: PROFILI TEMPORALI ACCELERAZIONE VERTICALE AL TRANSITO DI MEZZI DI CANTIERE

8.2 Valutazioni previsionali UNI9614:2017

Al fine di valutare il disturbo vibrazione alle persone, è necessario effettuare il calcolo del valore efficace complessivo ponderato Wm dell'accelerazione, a partire dai valori spettrali in bande a terzi di ottava, in accordo alla UNI 9614:2017 come descritto al paragrafo 2.2.2. Il modello di previsione esposto al capitolo 7 fornisce lo spettro in termini di accelerazione massima ponderata Wm in quanto lo spettro di input assunto come riferimento si riferisce alla somma vettoriale degli assi pesati Wm.

A partire dallo spettro in accelerazione calcolato a valle delle varie componenti descritte (effetto del terreno, attenuazione fondazioni, attenuazioni e amplificazione dei solai), si calcola il valore efficace globale dell'accelerazione dato dalla radice quadrata della somma dei quadrati delle singole frequenze. I valori totali sono calcolati anche per le singole componenti della propagazione, non solo per il valore stimato finale sul ricettore.

Le verifiche previsionali sono state effettuate in corrispondenza dei ricettori selezionati tra quelli testimoniali delle condizioni di esposizione più critiche alla fase di costruzione del progetto, censiti con sopralluoghi e misure di screening vibrazionale (cfr. paragrafo 6.2-6.3). Nell'Allegato 3 "Schede di verifica previsionale in fase di costruzione" vengono forniti i risultati delle verifiche sul singolo ricettore, sintetizzati anche nella **Tabella 21**, che riporta la destinazione d'uso e tipologia edilizia del ricettore, i valori massimi di accelerazione previsti sul ricettore in corrispondenza della sorgente più critica e i limiti di riferimento. Vengono evidenziati in grassetto i valori stimati superiori ai limiti UNI9614.

Le stime hanno riguardato le attività e macchine di cantiere potenzialmente associate ai massimi impatti vibrazionali per ogni ricettore esaminato.

In particolare, la lavorazione più significativa è relativa alla compattazione dei sottofondi lungo i FAL, a cui sono esposti tutti i ricettori esaminati. Per alcuni ricettori inoltre (V-01, V-05, V-06, V-12) è stato valutato anche l'impatto associato alle attività nei cantieri dedicati alle opere d'arte e relative alla realizzazione di fondazioni/consolidamenti e alle scapitozzature della testa dei pali.

I valori di accelerazione stimati sono compresi tra 1,2 e 10,1 mm/s², con una prevalenza tra i 4 e 6 mm/s². Rispetto al limite di 7,2 mm/s² relativo al periodo diurno (h 6-22), in cui sono previste la quasi totalità delle lavorazioni, si riscontra un superamento unicamente sul ricettore V-05, a 10 m dalle attività. Su alcuni ricettori, tuttavia, le stime sono prossime o superiori al limite di 5,4 mm/s² previsto nel periodo diurno dei giorni festivi, mentre nella quasi totalità dei ricettori esaminati è superato il limite di 3,6 mm/s² indicato per il periodo notturno (22-6). In generale, escludendo i ricettori lontani dalle lavorazioni, i valori stimati sono comparabili con la soglia di percezione umana delle vibrazioni (5,0 mm/s² per l'asse z e 3,6 mm/s² per gli assi x-y).

Le stime di impatto evidenziano pertanto una situazione di moderata criticità in relazione ai limiti di riferimento ai sensi della UNI9614: 2017. Tuttavia, collocandosi a livello della soglia di percezione umana e quindi "soggettivamente" disturbanti, evidenziano la necessità di monitorare nel tempo le attività.

Ricettore	Tipologia Edilizia	Attività più	Distanza	AW	Limite
-----------	--------------------	--------------	----------	----	--------



		critica	Ricettore [m]	[mm/s ²]	UNI9614 [mm/s ²]
V-01	Residenziale - C.A.	Consolidamenti	40	4,6	7,2
V-02	Residenziale - C.A.	Sottofondi	25	5,7	7,2
V-03	Residenziale - C.A.	Sottofondi	25	5,7	7,2
V-04	Produttivo - C.A.	Sottofondi	35	5,3	14,0
V-05	Residenziale - Muratura	Sottofondi	10	10,1	7,2
V-06	Residenziale - C.A.	Consolidamenti	40	4,5	7,2
V-07	Produttivo - C.A.	Sottofondi	45	3,8	14,0
V-08	Residenziale - C.A.	Sottofondi	25	6,4	7,2
V-09	Residenziale - C.A.	Sottofondi	30	5,4	7,2
V-10	Residenziale - Muratura	Sottofondi	75	2,2	7,2
V-11	Residenziale - Muratura	Sottofondi	40	3,7	7,2
V-12	Residenziale - Muratura.	Sottofondi	25	5,6	7,2
V-13	Residenziale - Muratura	Sottofondi	25	4,0	7,2
V-14	Residenziale - Muratura	Sottofondi	25	4,0	7,2
V-15	Residenziale - Muratura	Sottofondi	25	4,0	7,2
V-16	Residenziale - Muratura	Sottofondi	25	3,8	7,2
V-17	Residenziale - Muratura	Sottofondi	30	3,4	7,2
V-18	Residenziale - Muratura	Sottofondi	25	4,0	7,2
V-19	Residenziale - Muratura	Sottofondi	25	4,0	7,2
V-20	Residenziale - Muratura	Sottofondi	20	4,6	7,2
V-21	Residenziale - Muratura	Sottofondi	20	4,6	7,2
V-22	Residenziale - Muratura	Sottofondi	25	4,0	7,2
V-23	Produttivo - C.A.	Sottofondi	85	1,2	14,0
V-24	Residenziale - Muratura	Sottofondi	150	1,2	7,2
V-25	Residenziale - Muratura	Sottofondi	60	2,7	7,2

TABELLA 21: STIME DI IMPATTO VIBRAZIONALE IN FASE DI COSTRUZIONE

8.3 Valutazione previsionale del livello di rumore all'interno degli edifici

Le verifiche svolte per il rumore solido evidenziano livelli inferiori a 20 dBA, pertanto sono da considerare trascurabili.

9 PGIVC “PIANO DI GESTIONE DELL’IMPATTO VIBRAZIONALE DI CANTIERE E INTERVENTI DI MITIGAZIONE

9.1 Introduzione al PGIVC

La UNI9614:2017 evidenzia che deroghe ai limiti di riferimento indicati dalla norma possono essere concesse nel caso di attività temporanee o attività per le quali non sono implementabili adeguate misure mitigative o le stesse non sono economicamente fattibili in relazione alla breve durata del disagio provocato, come è il caso delle attività di cantiere. La definizione dei limiti in deroga per queste attività è tuttavia operazione molto complessa e comunque discutibile. La norma suggerisce che le vibrazioni di cantiere dovrebbero essere contenute in modo da evitare danni alle strutture più prossime e, con riferimento al disturbo alle persone, rispettare il riposo.

La norma inoltre suggerisce ad un Ente pubblico o ad un qualsiasi ente appaltante, nell’ambito degli oneri a carico dell’impresa, qualora si ritenga che le lavorazioni previste possano essere fonte di disturbo vibrazionale, non tanto di porre vincoli alle lavorazioni, ma di chiedere il PGIVC “Piano di gestione dell’impatto vibrazionale di cantiere” e di verificarne la completezza. Il testo può anche comparire all’interno delle linee guida per la redazione del Piano di Gestione Ambientale di cantiere.

Il PGIVC dovrà contenere almeno le finalità, il censimento dei ricettori, le lavorazioni, le attività informative preventive, i monitoraggi, le mitigazioni e i controlli.

La presente relazione di studio di impatto vibrazionale è propedeutica al PGIVC di PE ai sensi della Norma UNI9614, sviluppandone gli stessi contenuti ed essendo pervenuta all’individuazione di punti di monitoraggio da prevedersi in fase di costruzione. È tuttavia necessario che l’approccio venga calato sulle macchine, attrezzature e modalità operative che verranno adottate dalle Imprese in fase di costruzione.

9.2 Interventi di mitigazione

La mitigazione delle vibrazioni in fase di costruzione può solo essere eseguita alla fonte, ovvero intervenendo quando possibile sulla scelta delle attrezzature utilizzate, ad esempio preferendo macchine a rotazione rispetto a macchine a percussione o vibropercussione, utilizzando macchinari di recente omologazione e in buono stato di manutenzione, organizzando le lavorazioni in orari meno disturbanti.

Gli interventi finalizzati al controllo della propagazione delle vibrazioni, sostanzialmente basati sull’introduzione di discontinuità nel mezzo di propagazione, oltre ad essere molto costosi, vanno valutati di volta in volta dall’Impresa in relazione all’organizzazione del lavoro e delle attrezzature di cui dispone.

Per tutte le fasi di costruzione che non possono prescindere dall’impiego di attrezzature ad elevato impatto o dallo svolgimento di attività caratterizzate da un elevato carico emissivo vibrazionale, quali ad esempio le attività di compattazione del terreno con rulli vibranti o le attività di demolizione di parti di strutture in cemento armato con martelli demolitori o di

scapitozzatura della testa pali, le attività saranno sempre accompagnate da una preventiva comunicazione da parte del responsabile ambientale del cantiere ai residenti. In generale i possibili interventi di mitigazione possono essere suddivisi in due grandi categorie: interventi preventivi e interventi “attivi”.

- Interventi Preventivi - Riguardano tutti gli interventi che per la loro stessa natura contribuiscono a ridurre i livelli di emissione, quali ad esempio:
 - a. Utilizzo di macchine/attrezzature conformi alle norme armonizzate
 - b. Utilizzo di attrezzature che, a parità di lavorazione, garantiscono minori emissioni di vibrazioni (martelli pneumatici a potenza regolabile, rulli per la compattazione a bassa emissione di vibrazioni, macchine per il movimento terra gommate anziché cingolate, etc.)
 - c. Utilizzo di macchine di recente costruzione (gruppi elettrogeni, compressori, martelli demolitori, ecc.)
 - d. Continua manutenzione dei mezzi e delle attrezzature (Lubrificazione, sostituzione pezzi usurati o inefficienti, controllo e serraggio giunzioni, bilanciatura, verifica allineamenti, verifica tenuta pannelli di chiusura)
 - e. Costante manutenzione delle piste di cantiere e della viabilità interna ai cantieri.
 - f. Riduzione della velocità di percorrenza dei mezzi d’opera all’interno delle aree di cantiere e lungo le piste di cantiere, in particolare davanti alle abitazioni;
 - g. Istruzioni operative agli operatori: la stessa attività può essere svolta con il corretto impiego delle macchine/attrezzature in dotazione evitando l’insorgere di impulsi (posare e non far cadere, dosare con progressione la potenza del rotary nelle macchine per scavo pali trivellati, ecc.).
 - h. Organizzazione del lavoro in periodi meno disturbanti (evitando quindi le prime ore della mattina, la pausa pranzo e le ore serali).

- Interventi Attivi - Riguardano tutte le procedure operative attivabili nell’ambito del sistema di gestione ambientale e nel PGA Piano di Gestione Ambientale, e sono sintetizzabili nei seguenti punti:
 - a. Avvisare la popolazione residente del possibile disturbo transitorio, in anticipo sull’avvicinamento del fronte d’avanzamento lavori al ricettore;
 - b. Svolgere misure di vibrazioni in fase di avanzamento dei lavori al fine di poter segnalare tempestivamente il superamento delle soglie di attenzione in corrispondenza dei ricettori critici e per i quali si stima un impatto significativo (tecniche di monitoraggio real time).



10 PIANO DI MONITORAGGIO

I risultati delle valutazioni previsionali svolte su n. 25 ricettori esaminati nelle aree di interazione opera-ambiente selezionate lungo il tracciato dell'ampliamento a Terza Corsia dell'Autostrada del Brennero nel tratto compreso tra Verona e l'innesto A1-A22 a Modena evidenziano una situazione di criticità rispetto al valore limite indicato dalla UNI 9614:2017 per il periodo diurno nei giorni feriali, n. 5 criticità in caso di lavorazioni in periodo diurno dei giorni festivi e n. 20 con riferimento al limite notturno.

In considerazione della significatività dei valori stimati, prossimi o superiori alla soglia di percezione umana delle vibrazioni e quindi per alcuni soggetti potenzialmente disturbanti, il controllo in fase di costruzione è stato esteso cautelativamente ad un numero congruo di ricettori distribuiti lungo l'ambito di studio.

Si rimanda alla Relazione di PMA per la localizzazione dei suddetti punti di controllo.