

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

LINEA A.V. /A.C. TORINO – VENEZIA Tratta MILANO – VERONA
Lotto funzionale Brescia-Verona

PROGETTO DEFINITIVO DI VARIANTE

VARIANTE DI TRACCIATO IN CORRISPONDENZA PROPRIETÀ ANCAP

VIBRAZIONI: ESERCIZIO FERROVIARIO

RELAZIONE

GENERAL CONTRACTOR	ITALFERR S.p.A.
Consorzio Cepav due	
Data: _____	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA/DISCIPLINA	PROGR	REV
I N O R	1 1	Y	E 2	R O	B A 0 0 0 4	0 0 1	A

PROGETTAZIONE								IL PROGETTISTA
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	<small>IL PROGETTISTA STUDIO PROGETTO AMBIENTE s.r.l. Francesco Piccini Dottore in Ingegneria Civile iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Torino alla n. 4 <i>Francesco Piccini</i> Tel. 011 593262-Fax 011 5917837 CF. e P.IVA. 07224290011</small> Data: 04/12/2020
A	Emissione	SPA <i>Fava Mattiuzzi</i>	04/12/20	Pacini <i>Francesco Pacini</i>	04/12/20	Liani	04/12/20	
B								
C								

CIG. 751447334A

File: INOR11YE2ROBA0004001A_04.docx



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

CUP: F81H9100000008

**INDICE**

1.	OBIETTIVO DELLO STUDIO	3
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2.1	ESPOSIZIONE UMANA ALLE VIBRAZIONI	4
2.1.1	NORMA UNI 9614.....	4
2.2	ESPOSIZIONE DELLE APPARECCHIATURE SENSIBILI ALLE VIBRAZIONI	6
2.2.1	ISO/TS 10811-2:2000 "Mechanical vibration and shock - Vibration and shock in buildings with sensitive equipment - Part 2: Classification" h sensitive equipment - Part 2: Classification".	6
3.	APPROFONDIMENTI CONOSCITIVI	8
4.	DESCRIZIONE DEI RICETTORI OGGETTO DI INTERVENTO ANTIVIBRAZIONE	11
5.	VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI.....	12
6.	DIMENSIONAMENTO DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE.....	14
7.	CONCLUSIONI.....	18



Doc. N.	Progetto INOR	Lotto 11	Codifica Documento Y E2 RO BA 000 4 001	Rev. A	Foglio 3 di 18
---------	------------------	-------------	--	-----------	-------------------

1. OBIETTIVO DELLO STUDIO

A seguito della necessità di prevedere una variante progettuale relativamente ad un tratto di linea AV (nell'ambito della BSest-VR) di poco più di 2 km, conseguente alla decisione di non abbattere alcuni ricettori che ricadevano all'interno del nuovo sedime ferroviario AV, è stata richiesta la predisposizione di uno studio specifico in merito all'impatto vibrazionale esercitato dalla linea AV nella nuova configurazione progettuale sui ricettori interessati.

I ricettori che non verranno più demoliti sono:

- Il sito produttivo dell'azienda produttrice di porcellane ANCAP;
- L'abitazione del guardiano (edificio limitrofo allo stabilimento presso l'area di parcheggio);

Invece non sono ricettori i fabbricati più piccoli posti tra i due edifici di cui sopra.

La presente nota tecnica riprende i contenuti metodologici, conoscitivi e prescrittivi riportati nella relazione di revisione dello studio vibrazionale "Vibrazioni: Esercizio Ferroviario" redatto sull'esercizio della nuova linea ferroviaria A.V. Milano-Verona, lotto funzionale Brescia est-Verona comprendente l'interconnessione di Verona Merci.

Al fine di ricondurre l'impatto vibrazionale in esercizio ai limiti indicati dalla UNI9614 è stato previsto il ricorso a mitigazioni "passive", consistenti nella realizzazione di diaframmi in prossimità dei ricettori.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

2.1 ESPOSIZIONE UMANA ALLE VIBRAZIONI

2.1.1 NORMA UNI 9614

La norma 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 è stata aggiornata nel settembre 2017 modificando, 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.

La versione del 2017 tuttavia segnala che la norma va applicata per tutti i progetti che non hanno già ricevuto approvazione prima del 2017. Per tale ragione il presente studio prenderà a riferimento la Norma UNI9614: 1990, nel seguito descritta.

La norma è sostanzialmente in accordo con la ISO 2631-2. Tuttavia, sebbene le modalità di misura siano le stesse, la valutazione del disturbo è effettuata sulla base del valore di accelerazione r.m.s. ponderato in frequenza, il quale è confrontato con una serie di valori limite dipendenti dal periodo di riferimento (giorno dalle 7:00 alle 22:00, notte dalle 22:00 alle 7:00) e dalle destinazioni d'uso degli edifici. Generalmente, tra le due norme, la UNI 9614 si configura come più restrittiva.

Dato che gli effetti prodotti dalle vibrazioni sono differenti a seconda della frequenza delle accelerazioni, vanno impiegati dei filtri che ponderano le accelerazioni a seconda del loro effetto sul soggetto esposto. Tali filtri rendono tutte le componenti dello spettro equivalenti in termini di percezione e quindi di disturbo. I simboli dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza e del corrispondente livello sono rispettivamente, a_w e L_w . Quest'ultimo, espresso in dB, è definito come $L_w = 20 \log_{10} (a_w / 10^{-6} \text{ ms}^{-2})$.

Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo l'asse z prevede una attenuazione di 3 dB per ottava tra 4 e 1 Hz, una attenuazione nulla tra 4 e 8 Hz ed una attenuazione di 6 dB per ottava tra 8 e 80 Hz. Il filtro per le accelerazioni che si trasmettono secondo gli assi x e y prevede una attenuazione nulla tra 1 e 2 Hz e una attenuazione di 6 dB per ottava tra 2 e 80 Hz. La banda di frequenza 1-80 Hz deve essere limitata da un filtro passabanda con una pendenza asintotica di 12 dB per ottava. Nel caso la postura del soggetto esposto



non sia nota o vari nel tempo, va impiegato il filtro definito nel prospetto I della norma, ottenuto considerando per ogni banda il valore minimo tra i due filtri suddetti. In alternativa, i rilievi su ogni asse vanno effettuati utilizzando in successione i filtri sopraindicati; ai fini della valutazione del disturbo verrà considerato il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza più elevato.

Nell'Appendice della norma UNI 9614, che non costituisce parte integrante della norma, si indica che la valutazione del disturbo associato alle vibrazioni di livello costante deve essere svolta confrontando i valori delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, o i corrispondenti livelli più elevati riscontrati sui tre assi, con una serie di valori limite riportati nei prospetti II e III (**Tabella 1** e **Tabella 2**).

Quando i valori o i livelli delle vibrazioni in esame superano i limiti, le vibrazioni possono essere considerate oggettivamente disturbanti per il soggetto esposto.

Nel caso di vibrazioni di tipo impulsivo è necessario misurare il livello di picco dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza; tale livello deve essere successivamente diminuito di 3 dB al fine di stimare il corrispondente livello efficace.

I limiti (Tabella 3.6-5) possono essere adottati se il numero di eventi impulsivi giornalieri non è superiore a 3. Nel caso si manifestino più di 3 eventi impulsivi giornalieri i limiti fissati per le abitazioni, gli uffici e le fabbriche vanno diminuiti in base al numero di eventi e alla loro durata, moltiplicandoli per un fattore correttivo F. Nessuna riduzione può essere applicata per le aree critiche.

Nel caso di impulsi di durata inferiore a 1 s si deve porre $F = 1.7 \cdot N - 0.5$. Per impulsi di durata maggiore si deve porre $F = 1.7 \cdot N - 0.5 \cdot t \cdot k$, con $k = 1.22$ per pavimenti in calcestruzzo e $k = 0.32$ per pavimenti in legno. Qualora i limiti così calcolati risultassero inferiori ai limiti previsti per le vibrazioni di livello stazionario, dovranno essere adottati questi ultimi valori.

DESTINAZIONE D'USO	a_w [m/s ²]	L_w [dB]
Aree critiche	5.0×10^{-3}	74
Abitazioni (Notte)	7.0×10^{-3}	77
Abitazioni (Giorno)	10.0×10^{-3}	80
Uffici	20.0×10^{-3}	86
Fabbriche	40.0×10^{-3}	92

Tabella 1 Limite UNI 9614 delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, di livello costante e non costante, asse Z

DESTINAZIONE D'USO	a_w [m/s ²]	L_w [dB]
Aree critiche	3.6×10^{-3}	71
Abitazioni (Notte)	5.0×10^{-3}	74
Abitazioni (Giorno)	7.2×10^{-3}	77
Uffici	14.4×10^{-3}	83
Fabbriche	28.8×10^{-3}	89

Tabella 2 Limite UNI 9614 delle accelerazioni complessive ponderate in frequenza, di livello costante e non costante, asse X-Y

2.2 ESPOSIZIONE DELLE APPARECCHIATURE SENSIBILI ALLE VIBRAZIONI

2.2.1 ISO/TS 10811-2:2000 “Mechanical vibration and shock - Vibration and shock in buildings with sensitive equipment - Part 2: Classification” h 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 carroponti, 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 3** e la **Figura 1** e 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 3** 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 e 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).

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 3 Velocità di picco per curve limite

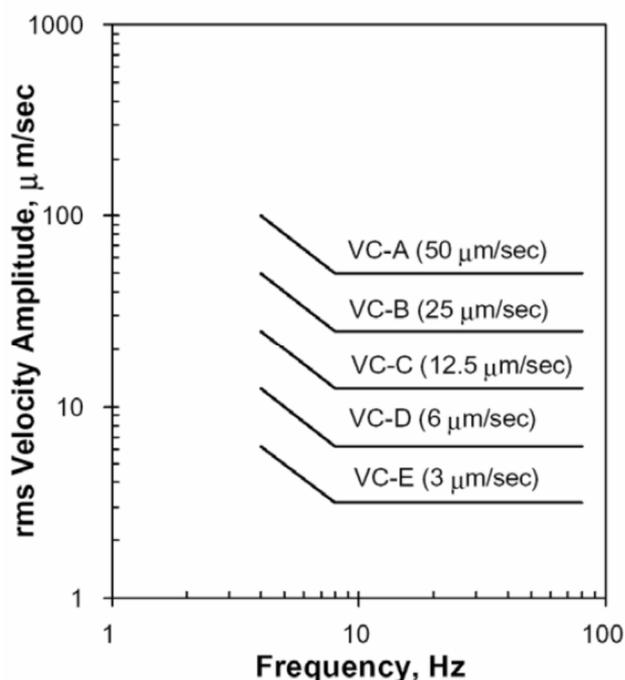


Figura 1 Curve limite Velocità di picco



3. APPROFONDIMENTI CONOSCITIVI

I ricettori sui quali è stato richiesto di verificare l'impatto vibrazionale sono i seguenti:

L135-S-001 Comune di Sona

L135-S-002 Comune di Sona

Nel seguito viene data una breve descrizione delle caratteristiche geomorfologiche e geolitologiche dei territori che riguardano i ricettori in esame (comuni di Sona e Sommacampagna) e nelle conclusioni operative i parametri geodinamici che sono stati utilizzati nelle verifiche previsionali.

Comune di Sona

Da un punto di vista geomorfologico il Comune è caratterizzato dalla presenza degli elementi geomorfologici tipici dei depositi fluvio-glaciali ed alluvionali; possono essere identificate due sub-aree principali con caratteristiche geomorfologiche differenti elencate nel seguito.

- Area collinare presente nella porzione ovest del territorio comunale, con presenza di depositi fluviali o fluvioglaciali; all'interno di tale area sono individuabili ulteriori 2 elementi geomorfologici di passaggio costituiti dall'area pedecollinare e dalle piane alluvionali intramoreniche.
- Area sub-pianeggiante presente nella porzione est del territorio comunale, caratterizzata dal vasto terrazzo di materiali di origine fluviale o ad opera degli scaricatori fluvio-glaciali.

Lungo il confine ovest del Comune sono presenti i depositi mobili attuali del Fiume Tione.

Il principale elemento geo-morfologico è rappresentato dai cordoni morenici, presenti nella porzione ovest del territorio comunale. In generale le pendenze dei cordoni sono comprese fra il 10 % ed il 20 %; in alcuni punti, ed in particolare nella porzione settentrionale ed orientale del centro abitato di Sona, nelle frazioni di Palazzolo e di San Giorgio in Salici, o nei pressi del fiume Tione, l'acclività delle colline moreniche può superare il 20 %, fino a picchi del 50 %. Data la natura litologica dei cordoni, caratterizzata da ghiaia e ciottoli in matrice sabbioso-limosa, sono favoriti i processi di denudazione, di accumulo e ristagno di acque meteoriche, in particolare sui versanti presentanti vegetazione rada e fenomeni di ruscellamento.

Sul territorio esistono inoltre alcuni elementi geomorfologici di origine antropica.

In particolare si segnala la presenza di cave poste lungo il tracciato dell'Autostrada e della ferrovia Milano - Venezia, e costituiscono le cosiddette cave di prestito utilizzate per la formazione del rilevato autostradale/ferroviario nell'ambito delle attività di costruzione, risalenti agli anni '60 del secolo scorso.

In sintesi, il ricettore in esame è sito all'interno di una zona caratterizzata da materiali alluvionali, fluvioglaciali, morenici o lacustri a tessitura prevalentemente sabbiosa.

Comune di Sommacampagna

Dal punto di vista geomorfologico, la zona di pertinenza geografica del comune di Sommacampagna è quella dell'Alta Pianura Veronese Occidentale (o Alto Agro Veronese) a nord-est del Fiume Mincio e ad ovest del Fiume Adige. Il territorio indagato è per circa i due terzi pianeggiante e per il restante collinare.

L'area dove sono presenti i rilievi fa parte dell'estremità sud-orientale dell'anfiteatro morenico del Garda. Tutto il territorio è rappresentato dal punto di vista litologico da depositi incoerenti trasportati e depositati dalle lingue glaciali del ghiacciaio dell'Adige e del Garda e dai numerosi fiumi che con grandi portate d'acqua solcavano le piane proglaciali durante l'Era Quaternaria.

Dal punto di vista geologico, il territorio si può suddividere in due zone distinte per processo di formazione che ne influenza l'aspetto morfologico: l'area collinare e quella pianeggiante. Nella parte pianeggiante il sottosuolo è costituito interamente da materiali sciolti, di prevalente natura ghiaiosa in matrice sabbiosa, sabbiosa limosa o limo-argillosa, deposti dalle divagazioni dei fiumi Mincio, Adige e Tione e dagli apporti degli scaricatori glaciali della piana proglaciale prospiciente l'apparato gardesano e delle piane intramoreniche. Il substrato roccioso si ritrova a profondità notevoli, in ogni modo superiore ai 150 metri.

Dal punto di vista stratigrafico il sottosuolo della parte pianeggiante è costituito da un potente materasso alluvionale indifferenziato appartenente al fluvioglaciale Riss II, di estensione areale maggiore rispetto alla zona d'interesse comunale, con caratteristiche stratigrafiche abbastanza uniformi e una buona continuità. Si tratta di depositi sciolti bene addensati e assortiti, prevalentemente ghiaioso-sabbiosi con ciottoli e modesta presenza di materiale fine. Esistono talvolta strati anche metrici di conglomerato ma discontinui su tutta l'area. Rari sono i livelli argillosi di spessore modesto, discontinui e di forma lenticolare. La composizione granulometrica delle alluvioni ghiaioso-sabbiose del Riss II è costituita in genere da una percentuale di ghiaia intorno al 50-60%, sabbia 10-20%, ciottoli 10-20% e matrice fine limoso-argillosa 5-10% (Dati ricavati dai sondaggi pregressi numero 10,12,14,15). Le dimensioni dei ciottoli tendono a diminuire procedendo verso sud-est, mentre contemporaneamente diminuisce la frazione fine.

Per quanto riguarda le litologie dei clasti delle ghiaie, si riconoscono calcari, dolomie, porfidi, graniti, basalti e scisti. Talvolta i ciottoli, se di forma allungata possiedono una disposizione parallela alla direzione di trasporto, evidenziando condizioni di trasporto fluviale. Le sabbie medie e fini hanno una prevalenza di quarzo, mentre le granulometrie più fini hanno una discreta percentuale siltosa.

La litologia dei rilievi collinari è costituita da ghiaie bianche con ciottoli frequenti, immerse in abbondante matrice limosa di età rissiana. L'aspetto di questi sedimenti è caotico, non esiste nessun tipo di stratificazione interna, vi si rinvengono spesso ciottoli di grosse dimensioni frammisti a clasti centimetrici, tutti immersi in abbondante matrice fine limoso-sabbiosa. La natura dei depositi morenici riflette i tipi litologici presenti nel bacino di alimentazione del ghiacciaio: calcari mesozoici bianchi e grigi, dolomie bianco rosate, porfidi atesini, graniti e basalti. I ciottoli si presentano per lo più arrotondati, per il lungo trasporto e raramente spigolosi.



Talvolta si possono presentare striature ed essere levigati. In superficie le ghiaie sono ricoperte da uno strato discontinuo argilloso rossastro di alterazione. Esso è genericamente assente lungo le creste, è presente con uno spessore di circa 30 centimetri lungo i fianchi, mentre raggiunge lo spessore di oltre un metro in alcuni punti ai piedi dei rilievi maggiori. All'interno di alcune vallecole tra i cordoni morenici e lungo il margine collinare verso sud-est si ritrovano depositi fluvioglaciali più antichi riconducibili al periodo fluvioglaciali Riss I. I depositi non cementati presentano elementi con un certo grado arrotondamento. Questi depositi sono stati normalmente dilavati e sfumano nei depositi sciolti della piana riferibile al fluvioglaciale Riss II. Si tratta di alternanze di strati di ghiaie e di sabbie limose che rispetto ai depositi circostanti risultano avere un maggior grado di organizzazione e una certa selezione granulometrica. La composizione granulometrica è data da un 20% di ghiaia grossa, da un 33% di ghiaia fine, 37 % da sabbie grosse e medie e dal 10% da sabbie fini.

Conclusioni operative

Le caratteristiche dinamiche dei terreni interessati dalla linea ferroviaria sono riconducibili a quelle dei terreni alluvionali, incoerenti, a matrice ghiaiosa-sabbiosa.

Nell'ambito della componente vibrazioni dello studio d'impatto ambientale eseguito per la linea ferroviaria oggetto di studio sono state eseguite le prove penetrometriche che hanno portato alla definizione, lungo il tracciato ferroviario, di stratigrafie tipo rappresentative degli strati di terreno presenti e della velocità di propagazione delle onde di taglio negli strati stessi.

Infatti per i terreni incoerenti è possibile correlare i risultati delle prove SPT con la velocità di propagazione delle onde di taglio nel terreno mediante la relazione empirica proposta da Ohta e Goto (1978).

$$V_s = 69 N^{0.17} z^{0.2} F_a F_g$$

dove:

- V_s è la velocità di trasmissione delle onde di taglio nel terreno in m/s;
- N è il numero di colpi ottenuto con la SPT
- Z è la profondità del terreno in esame in metri
- F_a è un fattore che dipende dall'età del deposito
- F_g è un fattore che dipende dalla granulometria.

Ricettore	Velocità delle onde di taglio V_s (m/s)	Velocità delle onde di compressione V_p (m/s)	Velocità delle onde di superficie V_r (m/s)
L135-S-001	280	1177	252
L135-S-002	280	1177	252

Tabella 4 Velocità delle onde di taglio, compressione e superficie presso i ricettori

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
Y E2 RO BA 000 4 001

Rev.
A

Foglio
11 di 18

4. DESCRIZIONE DEI RICETTORI OGGETTO DI INTERVENTO

ANTIVIBRAZIONE

L135-S-001 Comune di Sona

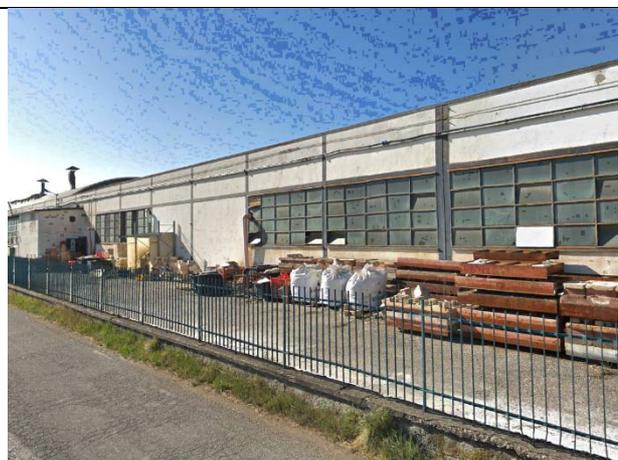
L'edificio ha una struttura mista in c.a. e tamponatura in laterizio intonacata a 1 piano f.t. annesso all'azienda ANCAP, come abitazione del custode, a 19 m di distanza a sud della linea FS storica Brescia – Verona.



L135-S-002 Comune di Sona

Edificio a destinazione produttiva, industriale ed artigianato in cemento armato ad un piano fuori terra, localizzato a 4 m di distanza a sud della linea FS storica Brescia – Verona (Stabilimento ANCAP).

Un'ala dell'edificio è probabilmente ad uso ufficio dello stabilimento.





5. VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI

Allo stato attuale, non essendo la linea in esercizio, l'impatto vibrazionale e il confronto con i limiti di legge è stimabile solamente mediante valutazioni numeriche.

Infatti non è nota l'emissione vibrazionale effettiva del treno AV che sarà in esercizio sulla linea in progetto né, con precisione, le dinamiche di propagazione terreno-edificio sitospecifiche di ciascun edificio oggetto di verifica, dal quale dipendono i livelli di impatto vibrazionale che saranno di fatto avvertiti dai ricettori.

Le stime previsionali presso i ricettori sono documentate nella **Tabella 5**, a confronto con i limiti normativi (per i ricettori residenziali sono riportati i limiti per il periodo diurno/notturno):

Ricettore	Distanza dalla sorgente [m]	L_UNI9614 (dB)	Lim_UNI9614 (dB)
L135-S-001	22	84	77/74
L135-S-002	12	76	89
L135-S-002_Uffici	12	87	83

Tabella 5 Stime vibrazionali

GENERAL CONTRACTOR

Cepav due

Consorzio ENI per l'Alta Velocità



ALTA SORVEGLIANZA



Doc. N.

Progetto
INOR

Lotto
11

Codifica Documento
Y E2 RO BA 000 4 001

Rev.
A

Foglio
13 di 18

Le stime previsionali evidenziano un superamento dei limiti in corrispondenza dell'edificio residenziale e dell'edificio ipotizzato ad uso ufficio, compreso tra 4 e 10 dB in riferimento alla norma UNI9614: 1990.

Per quanto riguarda lo stabilimento ANCAP, in termini di disturbo vibrazionale per le persone, le stime non documentano superamento dei limiti. Il differente valore e livello di accelerazione indicato in tabella consegue alla previsione (ipotesi) di una luce solaio differente tra area produttiva e area ufficio.

Va segnalato che all'interno dello stabilimento potrebbero essere presenti anche macchinari sensibili alle vibrazioni, il cui effetto è valutabile in termini di spostamento tollerabile dal singolo macchinario, dichiarato nella scheda tecnica di funzionamento del medesimo dal costruttore.

A tal riguardo si stima che il transito del treno possa provocare uno spostamento complessivo dell'ordine di 10 μ ed una velocità massima di vibrazione di 0,20 mm/s, valori di per sé superiori a quelli ammissibili per microscopi ottici, bilance di precisione, bilance ottiche.

Tali valori andrebbero in ogni caso valutati in relazione alle specifiche tecniche di funzionamento di ciascun macchinario operativo all'interno dello stabilimento.

Si ritiene fondamentale, in fase di pre-esercizio della linea AV in progetto, una verifica di campo durante la quale effettuare misure vibrazionali all'interno, finalizzate ad accertare l'effettivo disturbo alle persone, l'entità dello stesso e l'obiettivo di mitigazione. L'effettuazione delle misure di vibrazioni suddette, con rilievi all'esterno alla distanza dalla linea ferroviaria in cui dovrebbe essere realizzato l'intervento di mitigazione contestualmente alla misura all'interno dell'edificio, permetterà di caratterizzare compiutamente l'emissione vibrazionale della sorgente da abbattere e la funzione di trasferimento sorgente/ricettore.

6. DIMENSIONAMENTO DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE

Il dimensionamento degli interventi di mitigazione è, prima di tutto funzione, dell'obiettivo di mitigazione. Un altro elemento fondamentale nel dimensionamento degli interventi di mitigazione è la lunghezza dell'onda di Rayleigh L_R trasmesse nel terreno al transito del treno AV, direttamente proporzionale alla velocità di superficie delle onde V_R e inversamente proporzionale alla frequenza f delle onde trasmesse.

Per le suddette motivazioni è necessario considerare che il dimensionamento degli interventi di mitigazione nel seguito riportati rimangono indicativi e preliminari, in analogia alle indicazioni di PD di cui, in ogni caso, costituiscono una revisione, un aggiornamento ed una integrazione, a recepimento delle prescrizioni del CIPE ed ITALFERR e degli approfondimenti metodologici e conoscitivi sitospecifici effettuati sia in relazione alle limitazioni oggettive per la realizzazione degli interventi, sia relativamente alle caratteristiche costruttive e strutturali dell'edificio.

Al fine del dimensionamento preliminare degli interventi di mitigazione svolta nello studio vibrazionale di PD, per quanto riguarda la lunghezza dell'onda di Rayleigh L_R , è stata considerata una velocità di propagazione delle onde di Rayleigh pari a 180 m/s ed una frequenza di 30 Hz, facendo riferimento al documento "U.S. Department of transportation – Federal Railroad Administration: «High speed ground transportation Noise and vibration impact assessment» Washington, D.C., december 1998".

Misure sperimentali condotte lungo una linea ferroviaria ad Alta Velocità che collega Parigi e Bruxelles [DEGRANDE, 2000; DEGRANDE e SCHILLE – MANS, 2001] sia sui binari che sul terreno circostante, in occasione di nove passaggi di treni AV, su due binari diversi e con velocità variabile fra 223 km/h e 314 km/h hanno evidenziato, attraverso gli spettri di Fourier della velocità di vibrazione in direzione verticale, che la frequenza dominante delle vibrazioni sulle rotaie e sulle traversine è molto prossima alla frequenza di passaggio dei carrelli del treno. Quest'ultima è rappresentata dal rapporto fra la velocità del treno e la distanza di due carrelli consecutivi (18.70 m per il treno Thalys HST utilizzato nella case-history) ed assume un valore compreso tra 3.31 Hz e 4.66 Hz per treni con velocità variabile fra 223 km/h e 314 km/h. Si osserva che la frequenza dominante del segnale è di 4.52 Hz, prossima a quella di passaggio dei carrelli.

Propagandosi nel sottosuolo, le vibrazioni si modificano non solo in ampiezza, ma anche in termini di contenuto spettrale. All'aumentare della distanza dal binario, il valore di picco della velocità di vibrazione PPV diminuisce per effetto dell'espansione del fronte d'onda e delle proprietà smorzanti del mezzo di propagazione. In termini spettrali si osserva che le alte frequenze si attenuano più rapidamente delle basse: il campo di frequenze significativo raggiunge i 100 Hz a 12 m dal binario, 40 Hz a 32 m dal binario e 25 Hz a 72 m dal binario.



Di contro, il valore di picco della velocità di vibrazione è scarsamente influenzato dalla velocità del treno mentre, come atteso, è fortemente dipendente dalla distanza dalla sorgente.

I ricettori oggetto di verifica sono localizzati a distanze dell'ordine di 10-20 m dal binario più vicino. A tali distanze la frequenza delle onde trasmesse nel terreno per il calcolo della lunghezza dell'onda di Rayleigh L_R può essere assunta pari a 80-100 Hz.

Nel seguito vengono descritti gli interventi di mitigazione ipotizzabili.

L135-S-001 Comune di Sona

In corrispondenza del ricettore L135-S-001 la valutazione di impatto vibrazionale indica un livello massimo di 84 dB ed una V_{SOR} di 15 mm/s²: l'obiettivo di mitigazione è pari a 74 dB e a 3.6 mm/s², corrispondente ad un'attenuazione di almeno 10 dB e 11 mm/s².

La stima previsionale fa riferimento ad una velocità di esercizio del treno AV di 250 Km/h.

Sono stati considerati i seguenti parametri:

$$V_R = 252 \text{ m/s}$$

$$f = 80 \text{ Hz}$$

$$\gamma = 15 \text{ KN/m}^3 \text{ (Peso specifico del terreno)}$$

Per il Conglomerato cementizio:

$$E \text{ (modulo di Young)} = 20000 \text{ N/mm}^2$$

Coeff. Poisson 0.25

$$\gamma \text{ (Peso specifico)} = 24 \text{ KN/m}^3$$

Il setto in progetto per la mitigazione dell'impatto vibrazionale assume le seguenti caratteristiche:

profondità = 5,0 m

lunghezza = 65 m

Spessore = 1,00 m

attenuazione di progetto = 10,0 dB.

Si evidenzia che in alternativa, riducendo lo spessore del setto a 0,50 m, è necessario, a parità di lunghezza, raddoppiare la profondità dell'intervento (10 m).



L135-S-002 Comune di Sona

In corrispondenza del ricettore L135-S-002-uffici la valutazione di impatto vibrazionale indica un livello massimo di 87 dB ed una V_{SOR} di 21 mm/s²: l'obiettivo di mitigazione è pari a 83 dB e a 14 mm/s², corrispondente ad un'attenuazione di almeno 4 dB e 7 mm/s².

La stima previsionale fa riferimento ad una velocità di esercizio del treno AV di 250 Km/h.

Sono stati considerati i seguenti parametri:

$$V_R = 252 \text{ m/s}$$

$$f = 100 \text{ Hz}$$

$$\gamma = 15 \text{ KN/m}^3 \text{ (Peso specifico del terreno)}$$

Per il Conglomerato cementizio:

$$E \text{ (modulo di Young)} = 20000 \text{ N/mm}^2$$

Coeff. Poisson 0.25

$$\gamma \text{ (Peso specifico)} = 24 \text{ KN/m}^3$$

Il setto in progetto per la mitigazione dell'impatto vibrazionale assume le seguenti caratteristiche:

profondità = 1,5 m

lunghezza = 50 m

Spessore = 1,00 m

attenuazione di progetto = 4,0 dB.

Si evidenzia che in alternativa, riducendo lo spessore del setto a 0,50 m, è necessario, a parità di lunghezza, raddoppiare la profondità dell'intervento (3 m).

In corrispondenza dello stabilimento, in relazione al disturbo delle persone non sarebbe di per sé necessario il dimensionamento del setto, che potrebbe tuttavia essere richiesto invece dalla sensibilità dei macchinari, al momento non nota e da verificare.

Per ciascun ricettore è stata indicata la lunghezza minima del setto (**Tabella 6**). Essendo i ricettori vicini si determinano delle sovrapposizioni, **per cui di fatto si può prevedere un solo setto di lunghezza complessiva pari a 80 m per i due ricettori, ANCAP uffici e abitazione custode (Tabella 7)**.

Ricettore	Profondità (m)	Lunghezza (m)	Spessore (m)	Obiettivo (dB)	Attenuazione (dB)
L135-S-001	5,0	65	1,00	10,0	10,0
L135-S-002-uffici	1,5	50	1,00	4,0	4,0

Tabella 6 Lunghezza setto per ricettore

Ricettore	Tratto	Profondità (m)	Lunghezza (m)	Spessore (m)
L135-S-001	TRATTO A	5,0	65,00	1,00
L135-S-002-uffici	TRATTO B	1,5	15,00	1,00

Tabella 7 Mitigazione complessiva



7. CONCLUSIONI

Allo stato attuale, non essendo la linea in esercizio, l'impatto vibrazionale e il confronto con i limiti di legge è stimabile solamente attraverso valutazioni numeriche.

Il dimensionamento degli interventi di mitigazione è, prima di tutto, funzione dell'obiettivo di mitigazione.

Per le suddette motivazioni è necessario considerare che il dimensionamento degli interventi di mitigazione proposti risultano preliminari, soprattutto in relazione agli aspetti conoscitivi sitospecifici relativamente alle caratteristiche costruttive e strutturali dell'edificio.

La valutazione dell'impatto vibrazionale sul singolo transito secondo UNI9614 ha evidenziato superamenti dei livelli di riferimento e quindi la necessità di adottare interventi di mitigazione. Sulla base del modello semplificato e della scelta delle soluzioni di interventi con spessori pari a 1,00 m, le stime indicano la necessità di realizzare trincee di profondità variabile tra 1,5 e 5 m.

Essendo i ricettori vicini si determinano delle sovrapposizioni, per cui di fatto si può prevedere un unico setto di lunghezza complessiva pari a 80 m per i due ricettori, ANCAP uffici e abitazione custode.