

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

**U.O. AMBIENTE, ARCHITETTURA E ARCHEOLOGIA
PROGETTO DEFINITIVO**

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA RHO-ARONA. TRATTA RHO-GALLARATE
QUADRUPPLICAMENTO RHO-PARABIAGO E RACCORDO Y
PRIMO LOTTO FUNZIONALE**

**STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE
QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE**

DOSSIER MONOGRAFICO

STUDIO VIBRAZIONALE

SCALA :

Relazione generale


COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

MDL1 12 D 22 RH SA000A 003 A

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato / Data
A	Emissione Esecutiva		Mar 2013	G. D'Alili	Mar 2013	S. Borelli	Mar 2013	A. Martini
						SB		


ITALFERR S.p.A.
 Dott. Arch. Alessandro Martini
 Ordine Architetti Roma
 n. 10465

File: _____ n. Elab.: _____

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

INDICE

1	PREMESSA	2
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3	GRANDEZZE DI RIFERIMENTO	6
4	LIMITI DI NORMA	8
	4.1 Limiti della Normativa Internazionale ISO 2631	9
	4.2 Limiti della Normativa Italiana UNI 9614	11
	4.3 Normativa UNI 9916	14
5	CARATTERIZZAZIONE ANTE OPERAM	19
	5.1 Descrizione dei ricettori	19
6	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DELL'AREA	20
7	CAMPAGNA DI MONITORAGGIO	21
	7.1 Svolgimento delle misure e strumentazione utilizzata	22
	7.2 Dati rilevati	23
8	GLI IMPATTI CON LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	31
	8.1.1 Considerazioni generali	31
	8.1.2 Illustrazione delle tecniche previsionali adottate	32
	8.1.3 Natura del terreno e leggi di attenuazione nel suolo	36
	8.1.4 Individuazione delle criticità e previsione dell'impatto post operam	44
9	INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITÀ E PREVISIONE DELL'IMPATTO POST OPERAM	45

	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

1 PREMESSA

Il presente rapporto contiene i risultati dello studio relativo all'impatto vibrazionale prodotto dalla realizzazione del progetto di Potenziamento della linea Rho – Arona, nella tratta Rho – Gallarate, quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y.

La costruzione e l'esercizio di una linea ferroviaria sono infatti fonte di sollecitazioni dinamiche nel terreno circostante caratterizzate da un'area di influenza di ampiezza compresa in genere tra i 25 e i 50 metri.

In fase di esercizio, le cause di tali vibrazioni sono da ricondursi all'interazione del sistema veicolo/armamento/struttura di sostegno.

Le vibrazioni sono in grado di determinare effetti indesiderati sulla popolazione esposta, sugli edifici e su alcune particolari attività industriali.

Il disturbo sulle persone, classificato come "annoyance", dipende in misura variabile dall'intensità e frequenza dell'evento disturbante e dal tipo di attività svolta. L'annoyance deriva dalla combinazione di effetti che coinvolgono la percezione uditiva e la percezione tattile delle vibrazioni. Gli effetti sulle persone sono estesi all'intero corpo e possono essere ricondotti genericamente ad un aumento dello stress, con conseguente attivazione di ripetute reazioni di orientamento e di adattamento, e con eventuale insorgenza o aggravamento di malattie ipertensive.

La continua tendenza in alcuni settori dell'industria e della ricerca a perfezionare e rendere più precise le strumentazioni ha determinato il consolidarsi di situazioni di elevata sensibilità alle vibrazioni. Il funzionamento di microscopi ottici ed elettronici può ad esempio essere disturbato da livelli di vibrazioni inferiori alla soglia di percezione umana.


Le vibrazioni possono in alcune situazioni, od in presenza di caratteristiche di estrema suscettività strutturale o di elevati/prolungati livelli di sollecitazione dinamica, causare danni agli edifici. Tali situazioni si verificano tuttavia in corrispondenza di livelli di vibrazione notevoli, superiori di almeno un ordine di grandezza rispetto ai livelli tipici dell'annoyance.

Per la valutazione delle soglie di accettabilità relative a tali effetti sono state approntate diverse normative tecniche nazionali e internazionali (UNI - ISO - DIN), le quali, pur non avendo validità di legge, forniscono delle precise indicazioni.

Gli effetti delle vibrazioni sono strettamente legati alla tipologia dell'onda vibratoria e al mezzo di trasmissione.


L'iter metodologico seguito può essere schematizzato secondo le fasi di lavoro di seguito riportate:

- Individuazione dei valori di riferimento. Ai fini di una più immediata comprensione è stato dapprima effettuato un breve *escursus descrittivo* della normativa tecnica vigente e delle sue indicazioni più cogenti.
- Caratterizzazione ante operam. In questa fase dello studio è stato analizzato il territorio allo stato attuale (situazione ante operam) con lo scopo di verificarne la sensibilità sia del sistema antropico che di quello fisico. Mediante sopralluoghi mirati ed analisi comparata dei dati riportati dalle cartografie aerofotogrammetriche è stato

	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

effettuato un controllo della destinazione d'uso, dell'altezza nonché dello stato e della tipologia strutturale, di tutti i ricettori potenzialmente impattati.

- Rilevamento delle vibrazioni. Le indagini sperimentali sulle vibrazioni sono state, nello specifico, finalizzate, non solo alla valutazione dell'entità del livello vibrazionale allo stato attuale, ma anche alla costruzione di un modello sperimentale in relazione alla propagazione nel terreno e al comportamento degli edifici. I risultati sono riportati nel presente documento.
- Interventi di mitigazione. In questa parte dello studio sono state individuate le aree dove vi sono da attendersi dei superamenti dei valori di riferimento. I risultati di questa fase sono riportati nelle *planimetrie di individuazione delle aree critiche* doc MDL1 12 D22 N6 SA000A 035 A ÷ MDL1 12 D22 N6 SA000A 040 A.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale <p style="text-align: center;">STUDIO VIBRAZIONALE</p>				
	Relazione Generale	PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV
	MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	4 di 45


2 RIFERIMENTI NORMATIVI

L'inquinamento da vibrazioni viene regolamentato da normative tecniche sul disturbo sull'uomo e sugli effetti sugli edifici dal momento che non esiste tutt'oggi una legislazione specifica in merito a livello nazionale


Tali norme sono relative alle grandezze ed ai parametri che devono essere misurati, ai sistemi di rilevazione e alle caratteristiche della strumentazione impiegata.

Il livello di vibrazioni sull'uomo e sugli edifici vengono trattati in particolare dalla norma UNI 9614 in accordo con la ISO 2631. Gli standard di protezione sull'uomo previsti dalle predette normative garantiscono ampiamente rispetto alla possibile insorgenza di danni agli edifici e, pertanto, l'azione sugli edifici deve essere valutata nel caso di beni monumentali o storici per i quali possono essere assunti limiti più restrittivi. Le normative a cui fare riferimento per la valutazione dei danni strutturali sono la ISO 4866 e la UNI 9916 che è in sostanziale accordo con i contenuti tecnici della prima. Vengono di seguito elencati i principali riferimenti adottati:

- ANSI S1.1-1986 (ASA 65-1986), Specifications for Octave-Band and Fractional-Octave-Band Analog and Digital Filters, ASA, New York, 1993;
- ISO 2631, Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, 1997;
- ISO 2631, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz), 1989;
- ISO 2631, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 3: Evaluation of exposure to whole-body vibration in the frequency range 0.1 to 0.63 Hz, 1985;
- ISO 4866, Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings, 1990;
- ISO 4866, Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings, Amendment 1, Predicting natural frequencies and damping of buildings;
- ISO 4865, Metodi di analisi e presentazione dei dati;
- ISO 5347, Metodi per la calibrazione dei rilevatori di vibrazioni;
- ISO 5348, Montaggio meccanico degli accelerometri;
- ISO 1683, Acoustics – Preferred reference quantities for acoustic levels, 1983;
- UNI 9916, Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, 1990;
- UNI 9614, Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo, 1990;
- UNI 9670, Risposta degli individui alle vibrazioni apparecchiatura di misura.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 1: Principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations, 1975.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale <p style="text-align: center;">STUDIO VIBRAZIONALE</p>				
Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A	FOGLIO 5 di 45

- DIN 4150, Vibrations in building. Part 2: Influence on persons in buildings, 1975.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 3: Influence on constructions, 1975.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV
	MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	6 di 45

3 GRANDEZZE DI RIFERIMENTO

La grandezza primaria per la misura delle vibrazioni ai ricettori è il valore RMS (Root-Mean-Square) dell'accelerazione:

$$a = \left[\frac{1}{T} \int_0^T [a(t)]^2 dt \right]^{0.5}$$

Il livello di accelerazione viene espresso in dB come:

$$L = 20 \cdot \text{Log}_{10} \frac{a}{a_0}$$

dove a_0 è il valore dell'accelerazione di riferimento, pari a 10^{-6} m/s^2 (normativa ISO1683).

Gli spettri di vibrazione, nel campo di frequenze da 1 a 80 Hz, vengono rappresentati per terzi di ottava, con i valori centrali di ottava indicati nella seguente tabella.

Rappresentazione del campo di frequenze di interesse per terzi di ottava

Numero di banda di frequenza	Frequenza centrale [Hz]	Numero di banda di frequenza	Frequenza centrale [Hz]
0	1	10	10
1	1.25	11	12.5
2	1.6	12	16
3	2	13	20
4	2.5	14	25
5	3.15	15	31.5
6	4	16	40
7	5	17	50
8	6.3	18	63
9	8	19	80

Nella definizione della direzione del moto di vibrazione si intende con longitudinale la direzione parallela all'asse dei binari, trasversale la direzione perpendicolare all'asse dei binari, verticale la direzione perpendicolare al piano orizzontale come evidenziato in figura.

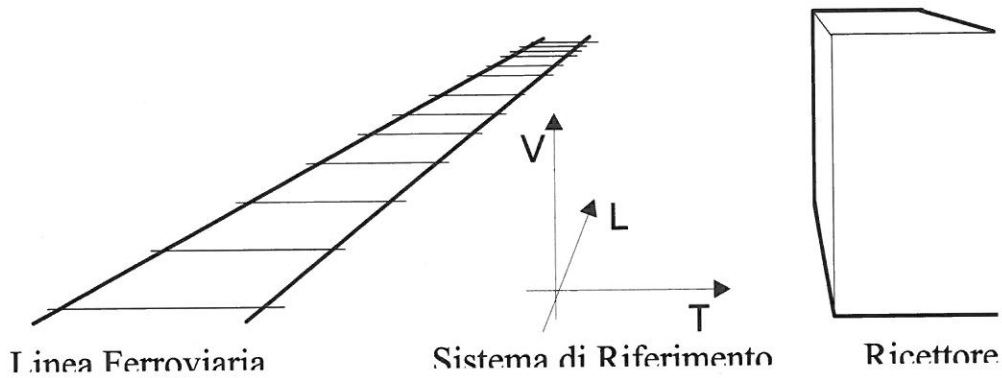



Figura: Orientamento delle componenti di vibrazione. L = longitudinale, T = trasversale, V = verticale, rispetto alla linea ferroviaria.

	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

4 VALORI DI RIFERIMENTO

La costruzione e l'esercizio di una linea ferroviaria sono fonte di sollecitazioni dinamiche nel terreno circostante caratterizzate da un'area di influenza di ampiezza compresa in genere entro i 25 e i 50 metri.

Le cause di tali vibrazioni sono da ricondursi, in fase di esercizio all'interazione del sistema veicolo/armamento/struttura di sostegno, in fase di cantiere alle attività di scavo, compattazione e movimentazione mezzi necessarie per la realizzazione dell'infrastruttura. Nel primo caso, essendo univocamente determinata la sorgente, conoscendone la localizzazione, la posizione rispetto ai potenziali ricettori, attraverso la definizione delle caratteristiche dinamiche della stessa risulta agevole produrre delle previsioni di impatto. Nel secondo caso, intervenendo molteplici sorgenti, differenti tra loro sia per tipologia che per ambito spaziale e temporale, l'attività previsionale è più complessa.

Le vibrazioni sono in grado di determinare effetti indesiderati sulla popolazione esposta, sugli edifici e su alcune particolari attività industriali.

Il disturbo sulle persone, classificato come "annoyance", dipende in misura variabile dall'intensità e frequenza dell'evento disturbante e dal tipo di attività svolta. L'annoyance deriva dalla combinazione di effetti che coinvolgono la percezione uditiva e la percezione tattile delle vibrazioni. Gli effetti sulle persone sono estesi all'intero corpo e possono essere ricondotti genericamente ad un aumento dello stress, con conseguente attivazione di ripetute reazioni di orientamento e di adattamento, e con eventuale insorgenza o aggravamento di malattie ipertensive.


Le vibrazioni possono in alcune situazioni, od in presenza di caratteristiche di estrema suscettività strutturale o di elevati/prolungati livelli di sollecitazione dinamica, causare danni agli edifici. Tali situazioni si verificano tuttavia in corrispondenza di livelli di vibrazione notevoli, superiori di almeno un ordine di grandezza rispetto ai livelli tipici dell'annoyance.

Per la valutazione delle soglie di accettabilità relative a tali effetti sono state approntate diverse normative tecniche nazionali e internazionali (UNI - ISO - DIN), le quali, pur non avendo validità di legge, forniscono delle precise indicazioni.

Al fine di valutare l'impatto vibrazionale all'interno degli edifici in termini di disturbo indotto sulle persone, la norma internazionale di riferimento è la ISO 2631, recepita in modo parziale dalla normativa italiana UNI 9614.

Si noti che i livelli massimi di vibrazione imposti per la limitazione del disturbo sulla persona sono generalmente più restrittivi di quelli relativi al danneggiamento degli edifici (normativa ISO 4866 e UNI 9916). Quindi, si può ragionevolmente assumere che, nel caso la vibrazione non superi in maniera sostanziale i limiti fissati per il disturbo sugli individui, non si abbiano effetti seppur minimi di danneggiamento sugli edifici. Inoltre, livelli vibrazionali tali da causare danneggiamento degli edifici sono tali da causare una riduzione di comfort vibrazionale e acustico (da rumore solido) inaccettabile e non caratteristico del fenomeno esaminato (vibrazioni dai treni).

Il veicolo ferroviario può essere definito *come sorgente di vibrazione intermittente*. Infatti, un ricettore adiacente ad una linea ferroviaria è soggetto ad una serie di eventi di breve durata,

	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale				
	STUDIO VIBRAZIONALE				
Relazione Generale	PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
	MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	9 di 45

separati da intervalli in cui la vibrazione ambientale denota una ampiezza significativamente più bassa

A tal proposito si fa presente che nel rapporto “*Vibrations transmises par le sol – Vibrations provoquées dans la batiments par la curculation. Analyse das rapportts de mesures effectuées aur divers réseaux*” - ORE, Question D151, Rapport 5 Utrecht 1983, le analisi delle misure effettuate lungo diverse reti ferroviarie in fabbricati residenziali ha suggerito l'adozione di limiti di riferimento sensibilmente più elevati rispetto a quelli utilizzati per le vibrazioni continue.

Per valutare l'effetto della vibrazione sul comfort, le componenti di moto lungo le tre direzioni vengono "sommate" (composte) in corrispondenza del ricettore, quando come nel caso in esame nessuna di queste è predominante sulle altre. Il valore totale dell'accelerazione \hat{a}_r al ricettore, funzione della frequenza, si ottiene a partire dalle tre componenti di moto longitudinale $\hat{a}_{r,L}$, trasversale $\hat{a}_{r,T}$, e verticale $\hat{a}_{r,V}$ come:

$$\hat{a}_r = \sqrt{[\hat{a}_{r,L}]^2 + [\hat{a}_{r,T}]^2 + [\hat{a}_{r,V}]^2}$$

Il sistema di riferimento impiegato per la definizione degli effetti della persona è definito in Figura 1. Data la diversa destinazione d'uso degli edifici soggetti alla valutazione del livello vibratorio, si è adottato il criterio della posizione dell'individuo non nota o variabile.

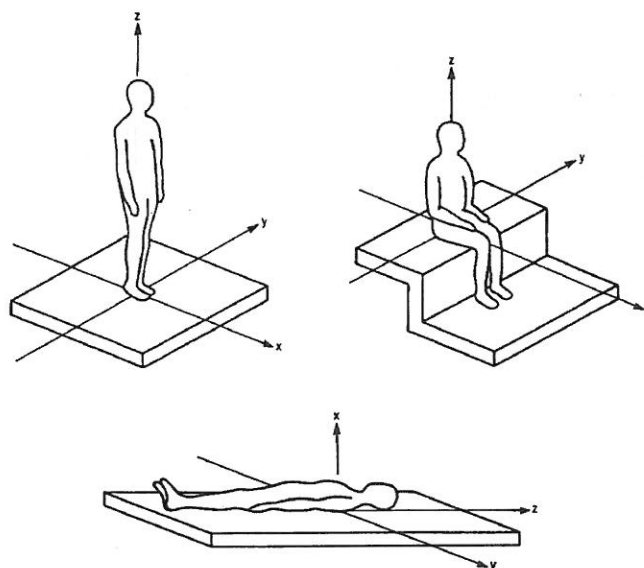



Figura 1: Definizione degli assi di riferimento rispetto alla posizione della persona (ISO2631).

4.1 Valori di riferimento della Normativa Internazionale ISO 2631

La Normativa ISO2631, indicando come quantità primaria per la misura dell'ampiezza di vibrazione il valore r.m.s. (root-mean-square) dell'accelerazione pesata in frequenza definito nel paragrafo 3, fissa i limiti di emissione di vibrazioni sull'individuo tramite curve base,

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale <p style="text-align: center;">STUDIO VIBRAZIONALE</p>				
	Relazione Generale	PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV
	MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	10 di 45

definite nell'intervallo di frequenza da 1 a 80 Hz. Tali curve di ampiezza di vibrazione in funzione della frequenza rappresentano i limiti di non disturbo; il loro superamento implica la possibile interferenza delle vibrazioni indotte con le attività umane.


A seconda del luogo in cui si trova l'individuo, o il tipo di edificio, vengono assegnati sempre dalla normativa opportuni moltiplicatori delle curve base. Gli edifici vengono suddivisi, con un criterio di sensibilità decrescente, nelle seguenti categorie:

- aree di lavoro critiche (camere operatorie ospedaliere durante l'orario di funzionamento, laboratori di precisione);
- aree residenziali;
- uffici;
- officine.

Una ulteriore distinzione viene fatta rispetto a vibrazioni in periodo notturno (dalle 22 alle 7) o diurno (dalle 7 alle 22). A partire dalle curve base si ottiene una serie di curve funzioni della frequenza, che rappresentano il limite di comfort riferito al livello di vibrazione in termini di accelerazione (valore r.m.s.), per diverse condizioni di luogo e ora.

Tabella- Valore dei moltiplicatori delle curve base per diverse tipologie destinazioni di uso delle aree e periodo della giornata

Luogo	Ora	Coefficiente di moltiplicazione
Aree critiche	Giorno e notte	1
Residenziali	Giorno	Da 2 a 4
	Notte	1,4
Uffici	Giorno e notte	4
Officine e laboratori	Giorno e notte	8

	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

4.2 Valori di riferimento della Normativa Italiana UNI 9614

La norma UNI 9614 *Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo* individua i limiti di soglia in funzione della destinazione d'uso degli edifici. Il superamento di tali limiti può costituire una fonte di disturbo per le persone esposte riducendone il loro benessere di vita. Vengono in particolare distinti quattro tipi di ricettori:

1. Aree critiche
2. Abitazioni
3. Uffici
4. Fabbriche

E' da evidenziare che tra le aree critiche la norma riporta le sale operatorie ospedaliere, i laboratori e i locali dove vengono svolte attività di particolare precisione. Le sopracitate aree sono comunque considerate come aree critiche solo negli intervalli di tempo in cui vengono utilizzate o svolte le attività di precisione.

I limiti sono espressi in base al livello di accelerazione in dB:

$$L = 20 \cdot \text{Log}_{10} \frac{a}{a_0}$$

dove a è il valore efficace r.m.s. dell'accelerazione sul periodo T di misura, e a_0 il valore di riferimento precedentemente definito.

Considerando cumulativo l'effetto di tutte le componenti di accelerazione per frequenze da 1 a 80 Hz vanno introdotti opportuni filtri di ponderazione che rendano tali componenti equivalenti dal punto di vista della percezione da parte dell'individuo (vedi Figura 2 e 3).

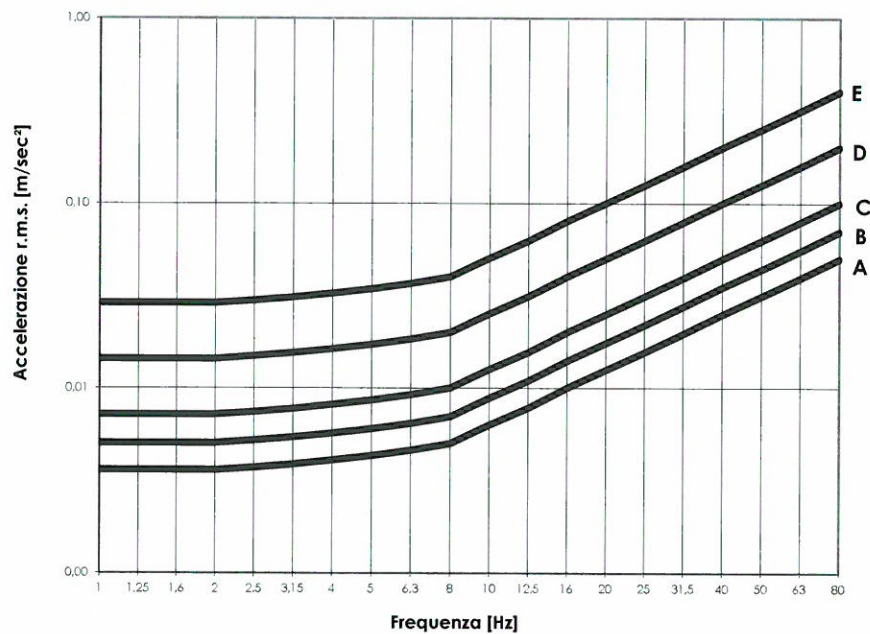


Figura 2: Curve limite ISO 2631: A aree critiche, B aree residenziali e ore notturne, C aree residenziali e ore diurne, D uffici, E officine e laboratori.

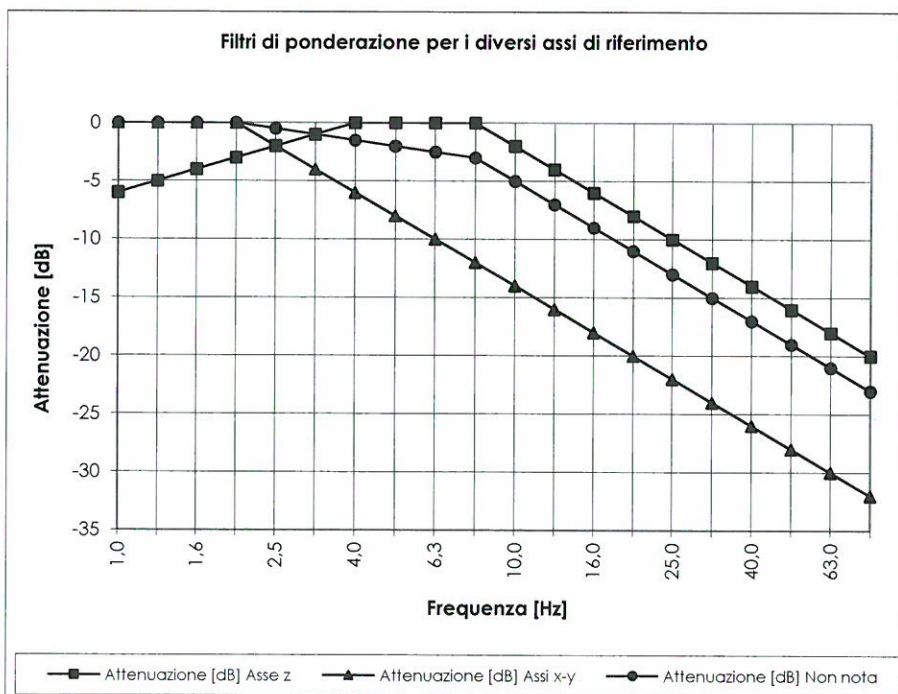



Figura 3: Attenuazione dei filtri di ponderazione per diverse posture dell'individuo (UNI 9614)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale <p style="text-align: center;">STUDIO VIBRAZIONALE</p>				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

Il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza L_w è fornito dalla relazione:

$$L_w = 10 \cdot \left(\text{Log}_{10} \sum_i 10^{L_{i,w}/10} \right)$$

dove $L_{i,w}$ sono i livelli di vibrazione in accelerazione calcolati per terzi di ottava, ponderati in frequenza secondo i filtri mostrati nelle figure precedenti.

Nei Prospetti II e III, la norma individua i limiti per le sorgenti di livello costante in relazione agli assi x e y o z.

**Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in
frequenza per l'asse z**

Luogo	A [m/s ²]	L [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

**Valori limite delle accelerazioni complessive ponderate in
frequenza per gli assi x e y**


Luogo	A [m/s ²]	L [dB]
Aree critiche	3.3 * 10 ⁻³	71
Abitazioni (notte)	5.0 * 10 ⁻³	74
Abitazioni (giorno)	7.2 * 10 ⁻³	77
Uffici	14.4 * 10 ⁻³	83
Fabbriche	28.8 * 10 ⁻³	89

Nel caso, come quello in esame in cui, in via cautelativa, siano impiegati filtri per posture non nota, la norma prescrive che siano impiegati i valori limite relativi agli assi x e y, più restrittivi

Per quanto riguarda le vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari, la UNI 9614¹ facendo riferimento al rapporto ORE D151², indica come valori limite per le residenze, quelli riportati in tabella:

¹ Vedi appendice punto A 4

² Vibrations transmises par le sol – Vibrations provoquées dans les bâtiments par la circulation. Analyse des rapports de mesures effectuées sur divers réseaux. ORE, Question D151, Rapport 5 Utrecht 1983. Il rapporto

	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale				
	STUDIO VIBRAZIONALE				
Relazione Generale	PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
	MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	14 di 45

	a [m/s ²]	L [dB]
Asse Z	30	89
Assi X e Y	21,6	86,7

Considerato che le analisi sono effettuate nel presente studio applicando il filtro per posture non nota, i valori saranno confrontati con il limite previsto per l'asse x e y, più restrittivo.

4.3 Normativa UNI 9916


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

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

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

L'appendice A della norma UNI 9926 contiene una guida semplificata per la classificazione degli edifici, secondo la loro probabile reazione alle vibrazioni meccaniche trasmesse attraverso il terreno. Le strutture comprese in tale classificazione riguardano:

- Tutti gli edifici residenziali e gli edifici utilizzati per le attività professionali (case, uffici, ospedali, case di cura ecc.).
- Edifici pubblici (municipi, chiese ecc.)
- Strutture industriali più leggere spesso concepite secondo le modalità costruttive in uso per gli edifici di abitazione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale <p style="text-align: center;">STUDIO VIBRAZIONALE</p>				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

La classificazione degli edifici (Prospetto III) è basata sulla loro resistenza strutturale alle vibrazioni oltre che sulla tolleranza degli effetti vibratorii sugli edifici in ragione del loro valore architettonico, archeologico e storico. I fattori dai quali dipende il comportamento di una struttura sollecitata da vibrazioni sono:


- La categoria della struttura.
- Le fondazioni.
- La natura del terreno.

La categoria di struttura (Prospetto II) è classificata in una scala da 1 a 8 (a numero crescente di categoria corrisponde una minore resistenza alle vibrazioni) in base ad una ripartizione in due gruppi di edifici:

- Edifici vecchi o antichi e strutture costruite con criteri tradizionali (Gruppo 1).
- Edifici e strutture moderne (Gruppo 2).

CATEGORIE DI EDIFICI

	1° GRUPPO	2° GRUPPO
1	Costruzioni industriali pesanti da cinque a sette piani di tipo resistenti ai terremoti. Strutture pesanti compresi ponti fortezze bastioni	Costruzioni industriali ad ossatura pesante di due o tre piani costruiti in armato oppure a struttura metallica con rivestimento di fogli o pannelli di tamponamento costruiti di pietre, mattoni o di elementi prefabbricati e di acciaio, solai in acciaio o calcestruzzo armato prefabbricato o gettato in opera Costruzioni industriali pesanti in acciaio o in calcestruzzo armato con struttura composita
2	Edifici pubblici ad ossatura in legno di tipo resistente ai terremoti	Immobili da 5 a 9 piani e più, uffici, ospedali, costruzioni industriali ad ossatura leggera in calcestruzzo armato od a struttura in acciaio con pannelli di tamponamenti in pietre, mattoni o elementi pref. non concepiti per terremoti
3	Casa di 1 o 2 piani ad ossatura in legno e costruzioni di uso simile con tamponamenti e/o rivestimenti, comprese le capanne di tipo resistente ai terremoti	Costruzioni industriali abbastanza leggere di tipo aperto ad un solo piano, giunti per tramezzi, ossatura in acciaio, alluminio, in legno o in calcestruzzo con rivestimento in legno leggero e tamponamenti in pannelli leggeri di tipo resistente ai terremoti
4	Costruzioni a più piani abbastanza pesanti utilizzate come magazzini di media importanza o come abitazioni da 5 a 7 piani o più	Abitazioni a 2 piani e costruzioni di utilizzo simile in pietra, mattoni o elementi prefabbricati comportanti un solaio ed un tetto rinforzati o interamente costruito in calcestruzzo armato o materiali simili resistente ai terremoti
5	Casa da 4 a 6 piani ed edifici di utilizzo urbano, costruiti in pietre o mattoni, con muri portanti di costruzione più pesante, comprese le case padronali e le residenze del tipo "piccolo castello"	Edifici e simili da 4 a 10 piani principalmente costruiti in pietre leggere e mattoni, legati in gran parte con muri interni di materiali simili e da solai in calcestruzzo armato prefab. o gettato in opera almeno a ciascun piano

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale <p style="text-align: center;">STUDIO VIBRAZIONALE</p>				
	Relazione Generale	PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV
	MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	16 di 45

6	Case a 2 piani ed edifici di utilizzo similare costruiti in pietre in mattoni ed in argilla, con solette e copertura in legno Parti costruite in pietra o mattoni, di tipo resistente ai terremoti	Case di abitazione ed edifici di utilizzo similare a 2 piani, compresi uffici costruiti con muri di pietra, in mattoni, in elementi prefab. e con strutture di soletta e di copertura in legno o prefabbricate
7	Chiese di grande altezza, saloni e strutture simili in pietra o in mattoni con arcate, comprese le chiese di minor importanza con arcate e costruzioni simili. Chiese basse ad ossatura pesante di tipo "aperto" (non controventate) e rimesse, comprese stalle, garages, costruzioni simili con solette e coperture in legno molto pesanti	Case e costruzioni simili ad uno o 2 piani, costruzioni più leggere e realizzate con materiali leggere e realizzate con materiali leggeri prefab. o preparati in opera
8	Rovine ed altre costruzioni in cattivo stato tutte le costruzioni della categoria 7 aventi un valore storico	

L'associazione della categoria viene fatta risalire alle caratteristiche tipologiche e costruttive della costruzione ed al numero di piani.

Le categorie riportate in tabella si riferiscono, in tutte e due i casi, a fabbricati con strutture in buono stato di manutenzione, senza difetti di costruzione, e che non hanno subito danni legati a fenomeni sismici, etc.. In caso diverso, gli edifici devono essere classificati in una categoria inferiore a quella propria.

Le fondazioni sono classificate in tre classi:

- ◆ classe A: pali legati in cemento armato; platea rigida; pali di legno legati tra loro; muri di sostegno a gravità;
- ◆ classe B: pali non legati in cemento armato; fondazioni di muri; pali e platee in legno;
- ◆ classe C: muri di sostegno leggeri; fondazioni importanti in pietre; assenza di fondazioni; muri direttamente sul terreno.


Il terreno viene classificato in sei classi:

- ◆ tipo A: rocce non fessurate; rocce molto solide leggermente fessurate; sabbie cementate;
- ◆ tipo B: terreni compattati, compressi in culle orizzontali;
- ◆ tipo C: terreni poco compattati, compressi in culle orizzontali;
- ◆ tipo D: piani inclinati, con superfici di scorrimento potenziali;
- ◆ tipo E: terreni granulari, sabbie, ghiaie senza coesione, argille con coesione sature d'acqua;
- ◆ tipo F: materiali di riporto.

Il grado di resistenza dei terreni sopra elencati decresce da A a F.

Il grado di attenuazione delle onde vibratorie è infatti strettamente legato alle caratteristiche del materiale ed in particolare alle sue proprietà elastiche. Maggiore è l'elasticità del mezzo minore sarà l'attenuazione.

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale <p style="text-align: center;">STUDIO VIBRAZIONALE</p>				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

Velocità massime ammissibili (UNI9916)

Cat.	Tipi di strutture	Velocità di vibrazione in mm/s			
		Misura alla fondazione			Misura al pavimento dell'ultimo piano
		<10 Hz	10÷50 Hz	50÷100 Hz	Frequenze diverse
1	Edifici commerciali, edifici industriali e simili	20	20÷40	40÷50	40
2	Edifici residenziali e simili	5	5÷15	15÷20	15
3	Strutture particolarmente sensibili alle vibrazioni non rientranti nelle categorie precedenti e di grande valore intrinseco	3	3÷8	8÷10	8

La Parte III della DIN 4150 indica le velocità massime ammissibili per vibrazioni transitorie quali quelle generate da transiti ferroviari:

- Per l'edificio nel suo complesso vedere la tabella precedente.
- Sui pavimenti $v < 20$ mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione.

Per vibrazioni stazionare (o nel caso che il numero di eventi, o transiti, giornaliero sia superiore a 60-70):


- Sull'edificio nel suo complesso $v < 5$ mm/s in direzione orizzontale in corrispondenza dell'ultimo piano.
- Sui pavimenti: $v < 10$ mm/s in direzione verticale nel punto di massima vibrazione.

Per velocità massima è da intendersi il valore di picco di tale grandezza; esso è ricavabile dalla velocità massima r.m.s. attraverso la moltiplicazione di quest'ultima con il fattore di Cresta F. Tale parametro esprime il rapporto tra il valore di picco ed il valore efficace. Per onde sinusoidali si assume $F=1.41$; in altri casi si possono assumere valori maggiori.

La norma internazionale ISO 4866 fornisce una classificazione degli effetti di danno a carico delle strutture secondo i seguenti tre livelli:

La ISO 4866 fornisce infine una classificazione degli effetti di danno a carico delle strutture secondo tre livelli:


Danno di soglia: formazione di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o accrescimento di fessure già esistenti sulle superfici in gesso o sulle superfici di muri a secco; inoltre formazioni di fessure filiformi nei giunti di

	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

malta delle costruzioni in muratura di mattoni. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata, con frequenze maggiori di 4 Hz e velocità di vibrazione di 4÷ 50 mm/s, e per vibrazioni continue, con velocità 2÷5 mm/s.

Danno minore: formazione di fessure più aperte, distacco e caduta di gesso o di pezzi di intonaco dai muri; formazione di fessure in murature di mattoni. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz nel campo di velocità vibrazionale compreso tra 20÷100 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 3÷10 mm/s.

Danno maggiore: danneggiamento di elementi strutturali; fessure nei pilastri; aperture di giunti; serie di fessure nei blocchi di muratura. Possono verificarsi per vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz e velocità vibrazionale compresa tra 20÷200 mm/s oppure per vibrazioni continue associate a velocità di 5÷20 mm/s.

	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

5 CARATTERIZZAZIONE ANTE OPERAM

5.1 Descrizione dei ricettori

L'area interessata interessa le province di Milano e Varese.

Sono nello specifico interessati i comuni di Rho. Pregnana Milanese, Vanzago, Pogliano Milanese, Nerviano, Parabiago, Canegrate, Castellanza, Busto Arsizio.

Trattasi quindi di un'area con elevata densità abitativa. I ricettori sono costituiti prevalentemente da edifici residenziali generalmente variabile tra i 2 e i 4 piani di altezza anche se non mancano fabbricati di notevole altezza (anche 7-10 piani).

Aree industriali e centri commerciali sono comunque inframmezzati agli agglomerati urbani.

Nell'ambito delle analisi ante operam per la componente rumore è stato effettuato un dettagliato censimento dei ricettori, cui si fa riferimento per le informazioni riguardanti anche gli aspetti vibrazionali.

I risultati di detto censimento sono stati riportati, su una base cartografica in scala 1:2000 (doc MDL1 12 D22 N6 SA000A 001 A ÷ MDL1 12 D22 N6 SA000A 017 A) e su apposite schede completi di informazioni riguardanti la localizzazione, lo stato e la consistenza e la relativa documentazione fotografica (doc MDL1 12 D22 SH SA000A 001 A ÷ MDL1 12 D22 SH SA000A 018 A).

Nelle planimetrie di censimento summenzionate sono state evidenziate mediante apposito retino le informazioni di seguito descritte:


Tipologia dei ricettori

- Residenze o Servizi;
- Ricettori sensibili³ (scuole, ospedali, case di cura, etc.);
- Produttivo artigianale o industriale e commerciale;
- Magazzini e depositi.

Altezza dei ricettori

1. Edifici bassi ≤3 piani (h < 10,50 m)
2. Edificio medi 3 piani < h ≤ 5 piani (12 < h ≤ 16,50 m)
3. Edificio alti > 6 piani (> 18 m)

³ I ricettori sensibili riportati nelle Planimetrie di localizzazione dei ricettori censiti sono quelli relativi alla componente rumore (vedi DPR 459/98). Per l'inquinamento vibrazionale si dovrà fare riferimento solo alla localizzazione delle operatorie degli ospedali e ai locali in cui si svolgono lavori di precisione che (UNI 9614).

	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

6 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DELL'AREA

I dati necessari alla compilazione del quadro geologico dell'area di interesse sono stati ricavati dalla bibliografia esistente, Carta Geologica dell'Italia a scala 1:100.000 e dai risultati dei sondaggi geognostici eseguiti per la redazione dello studio geologico del progetto definitivo, cui si rimanda per eventuali approfondimenti

L'area in esame ricade all'interno del settore nord occidentale della Pianura Padana, un'area che evidenzia la presenza di formazioni sedimentarie. In particolare l'assetto dell'area è stato caratterizzato da una serie di eventi geologici che si sono succeduti dal Miocene superiore fino al Quaternario, con la deposizione di sedimenti prevalentemente di tipo continentale e transazionale, depositi fluviali, glaciali, lacustri e palustri, al di sopra del substrato lapideo pre-Pliocenico.

Per quanto riguarda il territorio di interesse per il progetto in esame sono state individuate le seguenti formazioni geologiche:


- Depositi alluvionali Olocenici, costituiti da alluvioni fluvio-glaciali e fluviali ciottolose, non alterate, terrazzate, ghiaie con sabbie e/o sabbie limose sciolte/poco addensate. Lungo alcune parti del tracciato questi depositi sono sostituiti da materiale di riporto costituito da ghiaie sabbiose con clasti poligenici e frammenti di laterizi e calcestruzzo. In planimetria sono rappresentate solo le zone di riporto con spessore maggiore di 3 metri.
- Depositi fluvio-glaciali del Pleistocene medio superiore, si tratta in generale dei depositi continentali correlabili al ciclo wurmiano, terreni piuttosto eterogenei dal punto di vista delle caratteristiche granulometriche e geotecniche. In planimetria è evidenziata la principale formazione attraversata dal tracciato a prevalente facies ghiaioso-sabbiosa, formazione che è risultata interessata, dai sondaggi effettuati, dalla presenza di frequenti intercalazioni di ghiaie con sabbie da debolmente limose a limose. Al di sotto di questo strato piuttosto eterogeneo, non evidenziato in planimetria, è rinvenibile un deposito dello stesso ciclo a prevalente facies sabbioso ghiaiosa, rinvenuto anch'esso dai sondaggi geognostici effettuati.

Trattasi in entrambi i casi di terreni sciolti, riconducibili allo stesso fenomeno e, pertanto, caratterizzati da granulometria e composizione simile.

Il tracciato interessa comunque nella quasi totalità i depositi fluvio-glaciali del Pleistocene medio superiore, a facies ghiaioso-sabbiosa, con sabbie da debolmente limose a limose. All'interno di questa matrice i sondaggi eseguiti hanno rinvenuto a diverse profondità la presenza di lenti di materiale con granulometria differente.

Come evidenziato anche dalla carta geologica allegata allo studio geologico del presente progetto, i depositi più recenti, costituiti da alluvioni dell'Olocene, sono infatti riscontrabili a grande scala unicamente in corrispondenza dell'attraversamento del fiume Olona e nel tratto all'altezza di Parabiago.

Oltre alle formazioni summenzionate, svolgendosi in un'area fortemente antropizzata, si evidenzia la presenza, in alcuni tratti, di terreni di riporto come depositi superficiali.

	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

7 CAMPAGNA DI MONITORAGGIO

I dati rilevati sono stati finalizzati alla individuazione dei livelli vibrazionali attualmente indotti dall'esercizio ferroviario nonché alla determinazione dei terreni interessati dal progetto e della risposta degli edifici alle vibrazioni.

Sono state individuate due sezioni di misura la prima situata a Parabiago (Sezione 1) e la seconda situata a Castellanza (Sezione 2).

Ciascuna sezione comprende l'effettuazioni di rilievi in n. 4 postazioni di misura così come di seguito descritte:

Postazione P1: localizzata all'interno dell'edificio, all'ultimo solaio. L'accelerometro è stato fissato su una massa in acciaio poggiata sul pavimento. I rilievi servono per caratterizzare l'amplificazione delle vibrazioni dovute alla presenza del solaio nonché determinare l'andamento delle stesse al variare dei piani.

Postazione P2: localizzata presso le fondazioni dell'edificio, al primo solaio (piano terra preferibilmente). L'accelerometro è stato fissato su una massa in acciaio poggiata sul pavimento. I rilievi servono per la determinazione dell'attenuazione all'interfaccia fondazioni/terreno.

Postazione P3: localizzata all'esterno dell'edificio ad 1 metro dal filo del fabbricato. L'accelerometro è stato fissato su una massa in acciaio poggiata sul terreno. I rilievi servono per caratterizzare la funzione di trasferimento del terreno nonché come riferimento per la determinazione dell'attenuazione all'interfaccia delle fondazioni.

Postazione P4: localizzata presso la linea ferroviaria, ad una distanza variabile tra 4,00 m e 7,90 m dall'asse del binario di corsa ed ad altezza sul piano del ferro pari a circa -0.30 m. L'accelerometro è stato fissato sulla base di una massa cubica in acciaio poggiata sul medesimo camminamento di cui alla descrizione della precedente postazione. I rilievi come caratterizzazione degli spettri di emissione dei convogli in prossimità della linea.

La figura di seguito riportata riportano lo schema di localizzazione dei punti di misura:

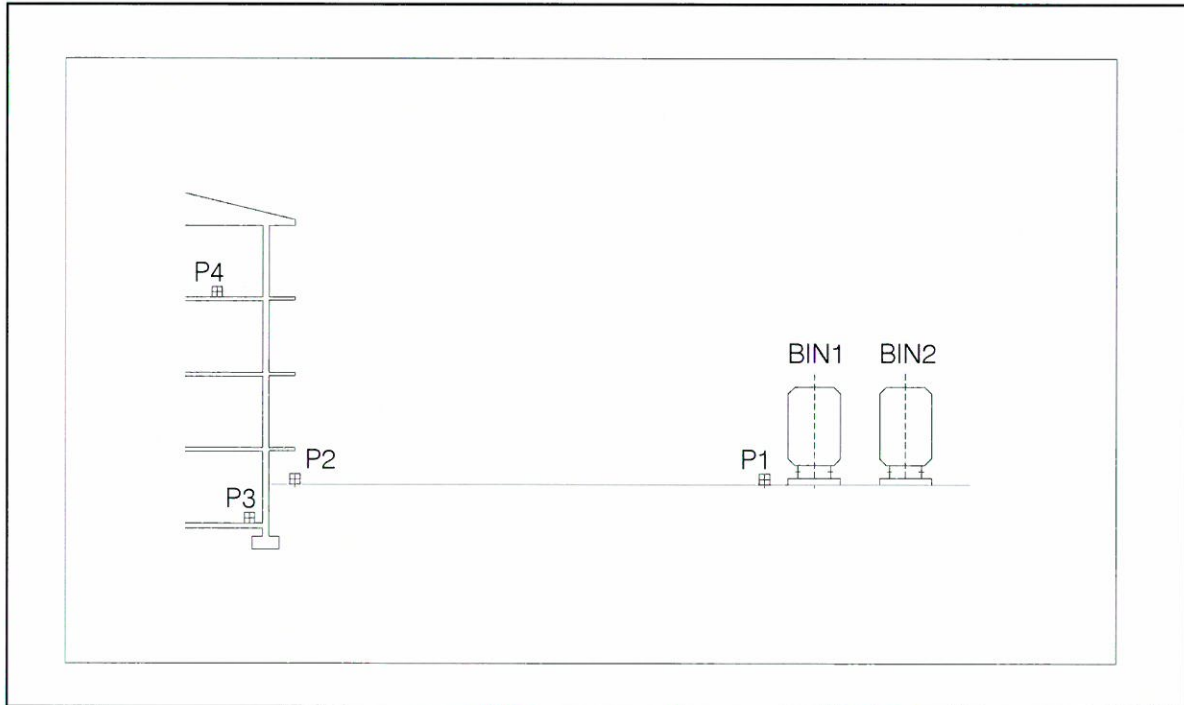


Figura 1 - Sezione trasversale tipo con indicazione delle postazioni di monitoraggio

7.1 Svolgimento delle misure e strumentazione utilizzata


La metodologia di misura adottata ha previsto l'installazione nelle due sezioni di misura di una postazione assistita, con la funzione di acquisire lo spettro delle accelerazioni verticali nei tre assi X, Y e Z in concomitanza con il transito di convogli sulla linea ferroviaria. Il rilievo degli analoghi parametri nelle diverse postazioni ha consentito quindi di determinare i valori differenziali delle accelerazioni, permettendo così di definire la catena di trasmissione sorgente/mezzo/ricettore.

Le misure sono state eseguite in lineare con filtri in banda di terzi di ottava, nel campo di frequenza $0,2 \div 200 \text{ Hz}^4$, costante fast, acquisizione dello spettro ogni 0,5" e durata variabile in relazione al transito rilevato.

La metodologia seguita è conforme alle norme UNI 9614 ed UNI 9916.

Le rilevazioni sono state eseguite utilizzando un analizzatori *real time* un Larson & Davis 2900 bicanale e un Larson & Davis 2800 monocanale. Nella scheda di seguito riportata se ne riportano le principali caratteristiche tecniche.

⁴ Applicando il filtro di ponderazione per assi combinati della UNI 9614, il campo di frequenza viene limitato all'intervallo 1-80 Hz.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale <p style="text-align: center;">STUDIO VIBRAZIONALE</p>				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

Tipologia	Analizzatore Real Time Harmony Sinus 8 CH
Standard	Ansi S1.11, IEC 651, IEC 804 classe 1
Accelerometri	n. 3 accelerometri monoassiali da 1000 mv/g PCB Piezotronics
Sensibilità accelerometro	1000 mv/g
Software di acquisizione	SAMURAI
Software di elaborazione	NOISE & VIBRATION WORK rel. 2.3.0

La calibrazione dei canali accelerometrici è stata effettuata mediante il calibratore Larson & Davis 394 M26.

7.2 Dati rilevati

Le registrazioni delle misure sono state analizzate in un secondo tempo in laboratorio mediante il software dedicato NOISE & VIBRATION WORK.

Nelle schede di rilevamento vibrazionali predisposte si riportano le analisi delle misure. Ogni scheda, corrispondente ad una misura, è associata in modo univoco a sezione, postazione ed evento.

Ogni scheda contiene:

- il livello di accelerazione complessiva ponderata (assi combinati) nel dominio del tempo
- lo spettro dell'accelerazione in bande di terzi di ottava da 0,2 Hz a 200 Hz (lineare ponderato UNI 9614 – assi combinati)

Le postazioni sono documentate con stralci planimetrici e repertorio fotografico. Nello specchio seguente, in corrispondenza di ciascuna di esse, viene riportata la sintesi delle misure effettuate, contenente:

- codice identificativo
- tipologia convoglio, composizione
- velocità di transito stimata
- accelerazione complessiva ponderata secondo UNI 9614 (assi combinati)
- accelerazione complessiva in m/s^2

Nelle tabelle seguenti si riportano in sintesi i dati rilevati:

SEZIONE 1 - PARABIAGO

Punto	Localizzazione		Distanza asse binario		Quota relativa piano del ferro		
1	Secondo piano		18,50 m		5 m		
Misura	Direzione	Tipo	Materiale	Composizione	Velocità	L _w d(B)	a [m/s ²]
M1	S	REG	Ale711	4	95	63,2	0,00145
M2	N	REG	Std	1+6	63	62,8	0,00138
M3	N	M	Ale711	5	86	61,0	0,00112
M4	N	REG	MDVx	1+7	41	60,8	0,00110
M5	S	REG	Ale840	4	127	64,4	0,00166
M6	N	M	MDVx	1+6	78	61,8	0,00123
M7	N	REG	Ale711	8	84	63,6	0,00151
M8	S	M	Std	1+6	148	66,4	0,00209
M9	N	REG	MDVx	1+5	67	60,8	0,00110
M10	S	REG	Ale711	3	81	61,4	0,00117
M11	N	REG	Vivalto	1+6	95	64,1	0,00160
M12	N	REG	TAF	4	95	61,6	0,00120
M13	S	REG	MDVx	1+5	143	63,2	0,00145
M14	N	REG	Ale711	3	114	60,9	0,00111
M15	N	REG	Std	1+9	79	62,4	0,00132
M16	S	REG	MDVx	5	95	59,5	0,00094
M17	N	REG	TAF	1+5	84	63,3	0,00146
M18	N	REG	Ale711	4	127	64,0	0,00158
M19	N	REG	Ale711	3	71	63,3	0,00146
M20	S	REG	TAF	3	114	59,6	0,00095

Punto	Localizzazione		Distanza asse binario		Quota relativa piano del ferro		
2	Piano terra		18,50 m		-0,50 m		
Misura	Direzione	Tipo	Materiale	Composizione	Velocità	L _w d(B)	a [m/s ²]
M1	N	LOC	Ale711	4	127	61,8	0,00123
M2	N	LOC	Ale711	5	79	58,5	0,00084
M3	N	M	-	1+32	53	57,1	0,00072
M4	S	LOC	Ale711	8	117	59,2	0,00091
M5	N	LOC	MDVx	1+5	95	58,7	0,00086
M6	N	M	-	1+33	35	60,2	0,00102
M7	S	LOC	MDVx	4	54	54,1	0,00051
M8	N	M	-	1+28	53	61,6	0,00120

STUDIO VIBRAZIONALE

Relazione Generale	PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
	MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	25 di 45

M9	S	LOC	Ale711	3	34	55,9	0,00062
M10	S	IR	MDVx	1+5	127	59,9	0,00099
M11	N	IR	-	1+1	48	57,9	0,00079
M12	N	IR	TAF	1+5	114	62,4	0,00132
M13	S	LOC	Ale711	3	71	56,6	0,00068
M14	N	LOC	Ale711	4	127	63,7	0,00153
M15	S	IR	MDVx	1+4	119	60,1	0,00101
M16	S	IR	MDVx	1+5	71	55,9	0,00062
M17	N	LOC	Ale711	5	95	59,9	0,00099
M18	N	IR	TAF	1+5	88	60,4	0,00105
M19	S	LOC	Ale711	3	48	57,1	0,00072
M20	N	IR	MDVx	1+6	63	61,6	0,00120
M21	S	M	-	1+32	267	57	0,00071
M22	N	IR	MDVx	1+4	45	56,6	0,00068
M23	S	IR	MDVx	1+8	107	59,1	0,00090

Punto	Localizzazione		Distanza asse binario		Quota relativa piano del ferro		
3	Esterno prossimità edificio		15,40 m		-0,80 m		
Misura	Direzione	Tipo	Materiale	Composizione	Velocità	L _w d(B)	a [m/s ²]
M1	S	LOC	Ale711	3	36	58,7	0,00086
M2	N	LOC	Ale711	5	86	65,2	0,00182
M3	S	LOC	Ale711	4	127	67,4	0,00234
M4	N	IR	MDVx	1+5	127	71,1	0,00359
M5	N	IR	MDVx	1+8	143	69,1	0,00285
M6	S	LOC	Ale711	3	48	58,3	0,00082
M7	N	LOC	Ale711	5	86	64,2	0,00162
M8	N	IR	MDVx	1+5	127	65,7	0,00193
M9	N	LOC	Ale711	5	136	66,6	0,00214
M10	S	IR	MDVx	4	129	64,7	0,00172
M11	S	IR	MDVx	1+4	136	64,3	0,00164
M12	S	LOC	Ale711	3	95	60,0	0,00100
M13	S	M	-	1+30	72	63,8	0,00155
M14	N	LOC	Ale711	5	95	65,7	0,00193
M15	S	LOC	Ale711	3	71	60,5	0,00106
M16	N	LP	Std	1+6	148	69,2	0,00288
M17	N	LOC	Ale711	4	127	71,6	0,00380
M18	S	LOC	Ale711	4	58	61,3	0,00116

STUDIO VIBRAZIONALE
Relazione Generale

PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	26 di 45

M19	N	LOC	Ale711	3	95	63,3	0,00146
M20	N	IR	MDVx	1+5	143	70,1	0,00320
M21	S	LOC	Ale711	3	114	65,0	0,00178
M22	S	LOC	Ale711	3	52	59,8	0,00098
M23	N	LOC	Ale711	5	95	67,1	0,00226
M24	S	LOC	TAF	4	95	64,0	0,00158
M25	N	IR	MDVx	1+6	148	71,1	0,00359
M26	S	LOC	Ale711	3	23	60,7	0,00108
M27	S	LP	Std	6	143	69,3	0,00292
M28	N	LOC	Ale711	8	84	68,8	0,00275
M29	S	LOC	TAF	4	76	67,2	0,00229
M30	S	IR	MDVx	1+5	143	66,3	0,00207
M31	N	IR	MDVx	4	127	69,2	0,00288
M32	S	M	-	1+21	85	65,5	0,00188
M33	S	LOC	Ale711	5	119	63,0	0,00141
M34	N	LOC	Ale711	6	143	69,1	0,00285
M35	S	IR	MDVx	4	150	58,7	0,00086

Punto	Localizzazione		Distanza asse binario		Quota relativa piano del ferro		
4	Esterno prossimità binario		7,20 m		-0.80 m		
Misura	Direzione	Tipo	Materiale	Composizione	Velocità	L _w d(B)	a [m/s ²]
M1	N	M	-	1+31	94	83,0	0,01413
M2	N	LOC	Ale711	3	71	76,0	0,00631
M3	S	IR	MDVx	1+6	121	79,6	0,00955
M4	N	IR	MDVx	1+5	104	82,3	0,01303
M5	N	M	-	1+14	29	79,3	0,00923
M6	S	LOC	Ale711	5	106	75,3	0,00582
M7	S	LOC	Ale711	4	84	81,7	0,01216
M8	N	LOC	Ale711	3	95	82,1	0,01274
M9	S	LP	ETR470	9	143	74,7	0,00543
M10	N	IR	Vivalto	1+6	148	80,4	0,01047
M11	N	M	-	1+16	108	81,8	0,01230
M12	N	LOC	Ale711	3	95	77,2	0,00724
M13	S	IR	MDVx	1+5	114	81,9	0,01245
M14	N	M	-	1+33	88	83,7	0,01531
M15	S	LOC	Ale711	5	136	71,8	0,00389
M16	N	LOC	Ale711	4	127	79,4	0,00933

STUDIO VIBRAZIONALE
Relazione Generale

PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	27 di 45

M17	S	LOC	Ale711	4	58	68,8	0,00275
M18	N	LOC	Ale711	3	95	75,8	0,00617
M19	N	LOC	TAF	4	127	84,9	0,01758
M20	N	LOC	Ale711	5	86	77,5	0,00750
M21	S	LOC	Ale711	8	95	71,9	0,00394
M22	N	IR	MDVx	1+5	127	80,2	0,01023

SEZIONE 2 - CASTELLANZA

Punto	Localizzazione		Distanza asse binario		Quota relativa piano del ferro		
1	Secondo piano		24,20 m		7,00 m		
Misura	Direzione	Tipo	Materiale	Composizione	Velocità	L _w d(B)	a [m/s ²]
M1	N	M	-	1+33	116	69,9	0,00313
M2	S	LOC	Ale711	4	109	64	0,00158
M3	N	LP	Std	1+6	222	67	0,00224
M4	N	LOC	TAF	4	109	68,2	0,00257
M5	S	IR	MDVx	1+5	127	66,4	0,00209
M6	N	LOC	Ale711	3	81	67,5	0,00237
M7	N	IR	MDVx	1+5	54	60,8	0,00110
M8	S	LP	Std	1+6	133	68	0,00251
M9	S	LOC	Ale711	3	114	63,5	0,00150
M10	N	M	Std	1+16	82	68,2	0,00257
M11	S	IR	MDVx	1+6	133	61,7	0,00122
M12	N	LOC	Ale711	6	104	65	0,00178
M13	N	IR	MDVx	1+5	42	60,2	0,00102
M14	S	LOC	Ale711	3	143	61,2	0,00115
M15	S	M	Std	1+11	120	67,2	0,00229
M16	N	LOC	Rivalto	4	95	64	0,00158

Punto	Localizzazione		Distanza asse binario		Quota relativa piano del ferro		
2	Piano rialzato		24,20 m		1,00 m		
Misura	Direzione	Tipo	Materiale	Composizione	Velocità	L _w d(B)	a [m/s ²]
M1	N	LOC	Ale711	5	119	56,5	0,00067
M2	N	LP	Etr600	7	148	61,7	0,00122
M3	N	LOC	Ale711	3	114	63,3	0,00146
M4	S	LOC	Ale711	3	143	67,9	0,00248
M5	N	LP	Std	1+6	148	65,8	0,00195

STUDIO VIBRAZIONALE
Relazione Generale

PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	28 di 45

M6	S	REG	TAF	4	127	62,5	0,00133
M7	N	LOC	MDVx	4	127	62,4	0,00132
M8	N	LOC	Ale711	5	95	57,9	0,00079
M9	N	IR	MDVx	1+7	69	58,0	0,00079
M10	S	LOC	Ale711	6	127	60,4	0,00105
M11	N	IR	MDVx	1+7	117	58,5	0,00084
M12	S	IR	MDVx	1+8	143	58,7	0,00086
M13	N	LOC	Ale711	8	138	61,2	0,00115
M14	N	IR	Std	1+5	143	59,7	0,00097
M15	N	IR	MDVx	1+5	127	61,3	0,00116
M16	S	REG	TAF	4	127	60,1	0,00101
M17	S	IR	MDVx	1+5	127	60,2	0,00102
M18	N	LOC	Ale711	3	95	56,1	0,00064
M19	S	LOC	Ale711	3	143	59,3	0,00092
M20	N	LOC	MDVx	4	129	63,4	0,00148
M21	N	M	-	1+23	72	57,0	0,00071
M22	S	REG	TAF	4	149	59,0	0,00089
M23	N	LOC	Ale711	6	143	61,1	0,00114
M24	S	IR	MDVx	1+5	143	61,0	0,00112
M25	N	M	-	1+31	31	56,4	0,00066
M26	S	LOC	Ale711	3	190	58,5	0,00084
M27	S	M	-	1+17	67	59,9	0,00099
M28	S	Servizio	3 motrici	3	143	59,6	0,00095
M29	N	LOC	Ale711	5	136	59,9	0,00099
M30	N	M	-	1+33	52	60,6	0,00107
M31	N		TAF	4	152	63,4	0,00148
M32	S		TAF	4	127	59,7	0,00097
M33	N	LOC	Ale711	8	101	59,2	0,00091
M34	N	IR	Std	1+5	63	56,5	0,00067
M35	S	LP	Std	1+6	148	61,4	0,00117
M36	S	LOC	Ale711	3	114	57,5	0,00075
M37	N		-	1+16	63	59,9	0,00099

Localizzazione		Distanza asse binario		Quota relativa piano del ferro			
3	Esterno prossimità edificio.	21,20 m		-0,50 m			
Misura	Direzione	Tipo	Materiale	Composizione	Velocità	L_w d(B)	a [m/s ²]

STUDIO VIBRAZIONALE

Relazione Generale

PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	29 di 45

M1	N	LOC	Ale840	3	3,5	77,9	0,00785
M2	S	IR	Std	1+5	4,5	77,4	0,00741
M3	N	LOC	Ale711	3	3,5	81,7	0,01216
M4	N	LP	ETR470	9	15,5	82,9	0,01396
M5	S	LOC	Ale711	6	5	77,7	0,00767
M6	N	LOC	TAF	4	3	84,9	0,01758
M7	S	LOC	TAF	4	3	80,7	0,01084
M8	N	LP	ETR600	7	13	73,1	0,00452
M9	S	Servizio	-	1	3	62,9	0,00140
M10	N	LOC	Ale711	5	3,5	79,5	0,00944
M11	S	LOC	Ale711	5	3,5	75,6	0,00603
M12	N	LOC	Ale711	3	3	82,2	0,01288
M13	N	LP	Std	1+6	4,5	81,6	0,01202
M14	S	LOC	Ale711	8	6,5	77,9	0,00785
M15	N	LOC	TAF	4	3,5	82,4	0,01318
M16	S	LOC	TAF	4	3	82,1	0,01274
M17	N	LOC	Ale711	5	4,5	78,2	0,00813
M18	N	IR	MDVx	1+6	12,5	77,9	0,00785
M19	S	LOC	Ale711	3	3	76,8	0,00692

Punto	Localizzazione		Distanza asse binario		Quota relativa piano del ferro		
4	Esterno prossimità binario		4,00 m		-0,50 m		
Misura	Direzione	Tipo	Materiale	Composizione	Velocità	L _w d(B)	a [m/s ²]
M1	S	M	-	1+33	116	89,6	0,03020
M2	N	IR	Vivalto	1+6	70	93,4	0,04677
M3	N	IR	MSVx	4	109	91,0	0,03548
M4	S	IR	MSVx	1+7	117	87,1	0,02265
M5	N	LOC	Ale711	5	158	91,7	0,03846
M6	N		2 motrici	2	95	84,9	0,01758
M7	S	LOC	Ale711	5	136	87,5	0,02371
M8	S		1 motrice	1	95	83,5	0,01496
M9	N	LP	Std	1+6	190	93,6	0,04786
M10	N	IR	MSVx	1+6	102	92,3	0,04121
M11	S	IR	MDVx	4	95	88,3	0,02600
M12	N	IR	MDVx	1+9	79	92,0	0,03981
M13	S	LP	Std	1+6	148	88,6	0,02692



Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y
Primo lotto funzionale

STUDIO VIBRAZIONALE

Relazione Generale

PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	30 di 45

M14	N	LOC	Ale711	8	109	94,9	0,05559
M15	S	LOC	Ale711	3	95	82,2	0,01288
M16	N	IR	MDVx	1+5	95	90,3	0,03273


Come si evince dall'analisi dei dati riportati in tabella, allo stato attuale, i livelli all'interno dei due fabbricati individuati risultano in tutti i casi e per tutte le tipologie di convoglio e transito entro i valori di riferimento previsti dalla normativa 9614, non solo per le vibrazioni di origine ferroviaria, ma anche per quelle di tipo continuo

I livelli più elevati sono stati riscontrati in entrambi i casi nelle postazioni al piano più elevato (Postazione 1) e sono precisamente pari a 66,4 dB a Parabiago (transito M8 treno Cisalpino) e a 69.9 dB a Castellanza (transito M1 treno Cisalpino)

Per entrambi i fabbricati si nota un effetto di amplificazione del fenomeno vibratorio con l'altezza.

E' infine da evidenziare come soprattutto per la sezione di Castellanza i livelli riscontrati in prossimità del binario a 4 m dalla linea appaiano alquanto elevati se confrontati con analoghi rilievi; una ragione di tale effetto può essere ricercata nelle caratteristiche/manutenzione del materiale rotabile e in quello dell'armamento.

Nonostante la natura dei terreni sia simulare (terreni sciolti a ghiaie e sabbie) dal confronto dei dati rilevati nella postazione in prossimità del binario (Punto 4) e quella subito all'esterno del fabbricato, già da un primo esame si evidenzia una maggiore spiccata attenuazione del terreno nella sezione 1 di Parabiago rispetto alla sezione 2 di Castellana. Tale risultanza è verosimilmente da ricercare in particolarità locali.

	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV
	MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	31 di 45

8 GLI IMPATTI CON LA REALIZZAZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

8.1.1 Considerazioni generali

La modellazione del comportamento del terreno sotto l'azione dinamica di tali 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 reirradiazione delle strutture.

Le vibrazioni dovute all'esercizio ferroviario sono originate dalle azioni all'interfaccia ruota-rotaia, indotte dalla rugosità delle superfici di rotolamento, che si propagano dal veicolo in transito agli edifici circostanti attraverso la struttura del terreno.

La vibrazione risultante viene percepita come moto meccanico degli elementi componenti l'edificio.


Nel caso di tracciati caratterizzati dalla presenza di tratti in rilevato le vibrazioni al terreno sono generalmente comprese tra i 20 e gli 80 Hz, con livelli di accelerazione dell'ordine di 60-70 dB⁵, per distanze da 15 a 30 metri dalla linea ferroviaria o metropolitana con velocità di esercizio sino a 100 Km/h.

Le vibrazioni all'interno degli edifici sono spesso vicine alla soglia di sensibilità umana e pertanto valutazioni adeguate debbono essere effettuate, mettendo correttamente in conto caso per caso le variabilità presenti nelle caratteristiche del suolo e nelle soluzioni progettuali adottate per gli edifici.

L'impiego di misure di controllo delle vibrazioni può risultare efficace, se necessario, per ridurre i disturbi all'interno degli edifici.

Tuttavia deve essere posta attenzione al fatto che questa soluzione potrebbe tendere ad incrementare le vibrazioni nel campo tra i 15 e i 30 Hz, il che potrebbe risultare negativo qualora siano presenti negli edifici componenti flessibili in grado di vibrare significativamente a tali frequenze.

⁵ 0 dB \cong 1 μ m7s²

	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

Uno studio finalizzato ad una valutazione previsionale degli effetti nocivi delle vibrazioni e ai benefici prodotti dagli interventi mitigativi proposti non può pertanto prescindere dall'analisi dei tre elementi della catena di trasmissione (sorgente, mezzo di trasmissione e ricettore).

Nei paragrafi seguenti si forniranno alcune indicazioni sulla caratterizzazione dei diversi elementi.

8.1.2 Illustrazione delle tecniche previsionali adottate

La realizzazione della campagna di monitoraggio presso i ricettori sensibili ha consentito una conoscenza di tipo puntuale dello stato attuale delle vibrazioni.

Avendo tuttavia la necessità di estendere tale conoscenza all'intero corridoio di interferenza, è stato chiaramente necessario ricorrere all'uso di opportuni modelli previsionali di tipo teorico e/o empirico.

L'esigenza di giungere ad quadro previsionale possibilmente il più vicino alla realtà, ha suggerito l'adozione di un modello previsionale realizzato ad hoc, tarato attraverso indagini specifiche effettuate in siti ritenuti rappresentativi sia per la geolitologia sia per la tipologia costruttiva del corpo ferroviario.

L'indagine sperimentale ha permesso quindi, da un lato, di definire gli spettri di emissione delle diverse tipologie di convogli F.S., da un altro, di ricavare la funzioni di trasferimento dei terreni interessati dal progetto nonché di caratterizzare la risposta degli edifici alle vibrazioni in base alla tipologia degli stessi.

I dati raccolti e analizzati nel dettaglio nei paragrafi precedenti sono stati quindi la base dello sviluppo di un algoritmo semplificato che ha consentito di fornire una caratterizzazione della qualità ambientale dei ricettori presenti all'interno del corridoio di interferenza nelle fase post operam.


Di seguito si premettono alcune brevi note teoriche di introduzione alla problematica:

La dipendenza parametrica del disturbo vibrazionale negli edifici deve essere esaminata in termini spettrali al fine di poter adeguatamente valutare i meccanismi di propagazione e di attenuazione/amplificazione nella catena di trasmissione costituita dai seguenti elementi:

- sorgente del disturbo (transito dei rotabili sull'infrastruttura ferroviaria);
- suolo da attraversare dalla linea alla struttura dell'edificio;
- caratteristiche dei componenti dell'edificio;
- curve di ponderazione che mettono in conto la sensibilità fisiologica dell'uomo (nel caso in esame, con riferimento alla norma UNI 9614, è stata messa in conto la curva di ponderazione per postura variabile o non nota).

In generale gli aspetti che intervengono nel condizionare l'importanza del disturbo vibrazionale negli edifici si possono quindi riassumere nei seguenti punti:

- a) *Interazione ruota- rotaia*
- b) *Velocità del treno*

	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

- c) *Comportamento corpo ferroviario*: tipo e dimensioni della linea (tunnel, trincea, superficie, rilevato, viadotto); spessore delle pareti della infrastruttura in tunnel o in trincea
- d) *Trasmissione nel terreno*: natura e caratteristiche del suolo; leggi di attenuazione nel suolo
- e) *Trasmissione agli edifici*: distanza plano-altimetrica tra linea e fondazioni edificio; caratteristiche del sistema fondazionale degli edifici; caratteristiche strutturali degli edifici


Nei successivi sotto paragrafi vengono esaminati nel dettaglio i più importanti aspetti che influenzano il disturbo vibrazionale e le modalità con cui sono stati considerati nell'elaborazione del modello previsionale.

Altri aspetti sopra menzionati, pur molto importanti, non vengono considerati in modo esplicito nello studio in oggetto, in quanto già messi in conto negli spettri sperimentali di riferimento in prossimità dell'armamento su ballast assunti come dati di partenza nelle successive analisi di previsione.

8.1.2.1 Interazione ruota-rotaia

Per quanto concerne la sorgente che, come detto, è costituita dal complesso treno – armamento, è, in particolare, indispensabile la conoscenza dei seguenti elementi base:

- a) Materiale rotabile:
 - tipologia dei veicoli;
 - carico per ruota;
 - lunghezza del veicolo;
 - interperno; passo del carrello;
 - caratteristiche di aggressività;
 - condizioni di alterazione dell'interfaccia ruota-rotaia
 - rigidità e capacità dissipativa della sospensione primaria del carrello del veicolo
 - caratteristiche dei sistemi di attacco della rotaia
- b) Armamento
 - ◆ massa della rotaia
 - ◆ rigidità
 - ◆ smorzamenti
 - ◆ masse
 - ◆ coefficienti di difettosità

 ITOLFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale				
	STUDIO VIBRAZIONALE				
Relazione Generale	PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
	MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	34 di 45

- ◆ La tabella di seguito riportata fornisce l'incremento del livello di vibrazione al terreno dovuto a differenti condizioni di alterazione dell'interfaccia ruota-rotaia, rispetto alla situazione ideale di rotaia liscia e ruota perfettamente circolare⁶.

Tab. – Interfaccia ruota – rotaia

Condizioni	Incremento
<i>I ruota rotaia corrugate</i>	da 3 a 6 db
<i>II appiattimenti della ruota</i>	da 5 a 10 dB
<i>III appiattimenti della ruota, corrugazioni della rotaia e della ruota</i>	da 10 a 20 dB

Per quanto concerne questo aspetto peculiare, si nota che lo stesso è implicitamente e in via cautelativa già considerato nei dati misurati sperimentalmente.


Nella tabella di seguita riportato si riportano i livelli vibrazionali medi, minimi e massimi con le relative velocità misurati nelle due sezioni di indagine in prossimità della linea ferroviaria rispettivamente alla distanza di 7,20 m e 4,0 m dal binario di corsa più vicino.

SEZIONE 1 PARAGIAGO – DISTANZA 7,20 BINARIO VICINO							
	Tipo	L _w d(B)	Velocità km/h		Tipo	L _w d(B)	Velocità km/h
Binario pari (direzione Nord) Distanza 7,20 m	MERC	82,0	80	Binario dispari (direzione Sud) Distanza 11,20 m	MERC	-	-
		79,3	29			-	-
		83,7	88			-	-
	LP	80,4 ^(*)	148		LP	74,6 ^(*)	143
		-	-			-	-
		-	-			-	-
	REG	79,0	103		REG	75,9	102
		75,8	95			68,8	58
		84,9	127			81,9	114

^(*) Unico transito valido

SEZIONE 2 CASTELLANZA – DISTANZA 4,00 BINARIO VICINO							
	Tipo	L _w d(B)	Velocità km/h		Tipo	L _w d(B)	Velocità km/h

⁶ Con riferimento a: Table 8-2 "Increase in A-weighted groundborne noise due to various wheel/rail conditions relative to smooth welded rail and trued wheels", pag. 8-9 di *Handbook of Urban Rail Noise and Vibration Control* - G. P. Wilson 1982 U. S. Department of Transportation - Washington.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

Binario pari (direzione Nord) Distanza 4,00 m				Binario dispari (direzione Sud) Distanza 8,00 m			
	MERC	-	-		MERC ^(*)	89,6	116
		-	-			-	-
		-	-			-	-
	LP	-	-		LP ^(*)	88,6	148
		-	-			-	-
		-	-			-	-
REG	92,2	103	REG	86,3	115		
	90,3	95		82,2	95		
	94,9	103		88,3	95		

(*) Unico transito valido

Si nota che nella sezione 2 di Castellana i livelli vibrazionali misurati sono risultati di gran lunga superiori a quelli rilevati nella sezione di Parabiago. Tale particolarità deriva verosimilmente non solo dalla differente distanza a cui sono state effettuate le misure; infatti se si confrontano i dati rilevati del binario vicino di Parabiago (dist.=7,20m) e quelli del binario lontano di Castellanza (dist.=8,00m), i valori di quest'ultima postazione risultano sempre superiori.

Gli ulteriori fattori che determinano tale fattore sono dunque da ricercarsi nella differente velocità dei due tratti, nella presenza di una sia pure ampia curva di tracciato a Castellanza, nello stato di manutenzione delle rotaie, e nelle locali disomogeneità che vi possono essere del mezzo di trasmissione.

La ricerca di un valore probabile quanto cautelativo stante la particolare sensibilità dell'area interessata, sia per le peculiarità di alcuni ricettori che per le caratteristiche stesse dell'intervento e dei terreni interessati, si tiene necessario effettuare una omogeneizzazione dei dati in relazione a velocità e distanza secondo le modalità descritte nei paragrafi seguenti.

8.1.2.2 Velocità del treno

La velocità del treno ha un effetto significativo sul disturbo vibrazionale negli edifici, anche se spesso inferiore a quanto potrebbe essere atteso sulla base di considerazioni soggettive.


I livelli di vibrazione variano con legge logaritmica in base dieci in funzione delle variazioni nella velocità del treno, ossia:

$$L = L_0 + 10 \div 20 \cdot \log\left(\frac{V}{V_0}\right)$$

dove:

L e L_0 : sono i livelli di vibrazioni in decibel

V e V_0 : sono le rispettive velocità di transito dei treni

	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV
	MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	36 di 45

Dalla relazione sopra riportata si evince che al raddoppiare della velocità di transito si produce un incremento di 6 dB nei livelli di vibrazione e ciò in maniera indipendente dalla frequenza.

8.1.3 Natura del terreno e leggi di attenuazione nel suolo

La sezione più complicata è comunque quella rappresentata dal mezzo di propagazione. Si nota infatti che la varietà delle conformazioni morfologiche del terreno comporta le maggiori incertezze di valutazione.

I fattori che possono influire nel determinare l'attenuazione di un mezzo roccioso sono molteplici. I più determinanti sono costituiti dalla natura del mezzo, dal suo grado di costipazione, dall'attrito statico fra i granuli e quindi dalla granulometria, dalla fratturazione del mezzo, dalla presenza di acqua e da altri fattori la cui differente combinazione può determinare gradi di attenuazione differenti in mezzi litologicamente similari.

Agli effetti dell'analisi del terreno alle azioni dinamiche risulta quindi determinante la suddivisione tra rocce lapidee (tipo A nella norma UNI 9916) e rocce sciolte (da tipo B a tipo F nella norma UNI 9916).

A tal proposito è possibile effettuare alcune considerazioni di carattere puramente generale.

Anzitutto va considerato che le rocce lapidee trasmettono tutta la gamma di frequenze e principalmente le più alte, mentre le rocce sciolte lasciano passare solo le basse frequenze, che comunque corrispondono a quelle di risposta degli edifici.

Inoltre mentre le rocce lapidee difficilmente possono subire variazioni di struttura sotto sollecitazioni dinamiche, le rocce sciolte, risultano di gran lunga più sensibili. La loro risposta alla azione di disturbo è diversa a seconda che l'intensità del disturbo sia lieve o al contrario forte.


Nel primo caso non si ha una vera variazione della struttura mentre nel secondo caso la vibrazione produce per tutte le rocce sciolte un assestamento e quindi una riduzione di porosità. Ciò avviene in misura maggiore per le rocce incoerenti poiché i granuli sottoposti a vibrazione perdono resistenza di attrito e quindi vengono favoriti fenomeni di scorrimento con assestamenti e rifluimenti.

Da esperienze su terreni sabbiosi risulta che il detto effetto della riduzione della resistenza al taglio si fa sentire maggiormente al diminuire della densità ed al crescere dei diametri medi dei granuli.

Come si intuisce il ruolo del terreno risulta fondamentale e complesso in tutti i problemi dinamici, e non si può affermare categoricamente che un tipo di terreno è più adatto di un altro a propagare vibrazioni in ogni condizione. Ad esempio, si registrano accelerazioni più deboli nei terreni sabbiosi che nell'argilla umida, mentre la vibrazione decresce più rapidamente nell'argilla che nella sabbia.

Si sottolinea inoltre che la presenza di stati fessurativi e/o coattivi nelle strutture edilizie determinano un ulteriore incremento della sensibilità ai fenomeni vibratorii.

La caratterizzazione dei terreni deve essere condotta con riferimento alla definizione di parametri rappresentativi del comportamento meccanico dei terreni in presenza di sollecitazioni di taglio dinamiche in fase di servizio o nel campo delle piccole e medie

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

deformazioni. Il comportamento del terreno, soggetto ad uno sforzo di taglio, è governato dal modulo di taglio G e dal modulo di Poisson. Il modulo di taglio dipende dallo stato di addensamento del terreno, dal livello tensionale e dal livello di deformazione di taglio; in realtà la variazione del livello di deformazione è praticamente ininfluenza fintantoché lo stato deformativo è limitato al campo elastico; superato tale campo, il modulo di taglio decresce in modo più o meno repentino a seconda del tipo di terreno.

Per quanto concerne le modalità di trasmissione, gli studi teorici condotti in diverse sedi e prevalentemente dall'Ente di Ricerca Ferroviaria Europea (ORE) e controllati con ampie indagini sperimentali portano a ricondurre i fenomeni di propagazione a quelli tipici dell'energia vibrazionale attraverso il terreno.

Il transito del treno genera pertanto onde di corpo (compressione e taglio), e onde di superficie (Rayleigh e Love), che si compongono come di seguito riportato:

- onde superficiali (onde di Rayleigh) per una percentuale di circa il 67%;
- onde di taglio per una percentuale di circa il 26%;
- onde di compressione e trazione per una percentuale di circa il 7%.

Per le linee in galleria si distinguono due casi;

- A) *Linee in galleria profonda* dove generalmente prevalgono invece le onde di compressione e di taglio.
- B) *Linee in galleria non profonda* dove le onde di superficie (onde di Rayleigh e Love) assumono maggior rilievo rispetto alle onde di compressione e di taglio.

Poiché lo specifico caso in esame prevede una sorgente irraggiante di tipo lineare, le onde di superficie sono attenuate solamente per effetto dello smorzamento. Le onde di corpo si attenuano comunque sia per effetto della distanza (effetto geometrico) che per effetto dello smorzamento intrinseco del materiale suolo.

L'effetto geometrico è indipendente dalla frequenza, mentre quello dissipativo cresce linearmente con la frequenza. In particolare la formula che viene utilizzata per il calcolo dell'attenuazione delle vibrazioni nella loro propagazione attraverso il terreno è:

$$L = 20 \cdot \log \left[10^{\frac{L_c}{20}} + 10^{\frac{L_t}{20}} + 10^{\frac{L_s}{20}} \right]$$


dove:

L_c, L_t, L_s sono rispettivamente i livelli trasmessi attraverso onde di compressione, taglio e superficie:

$$L_c = L_0 + 20 \cdot \log(\beta_c) - K_c \cdot \log\left(\frac{R}{R_0}\right) - \alpha_c \cdot (R - R_0) \cdot \frac{f}{V_c}$$

$$L_t = L_0 + 20 \cdot \log(\beta_t) - K_t \cdot \log\left(\frac{R}{R_0}\right) - \alpha_t \cdot (R - R_0) \cdot \frac{f}{V_t}$$

$$L_s = L_0 + 20 \cdot \log(\beta_s) - K_s \cdot \log\left(\frac{R}{R_0}\right) - \alpha_s \cdot (R - R_0) \cdot \frac{f}{V_s}$$

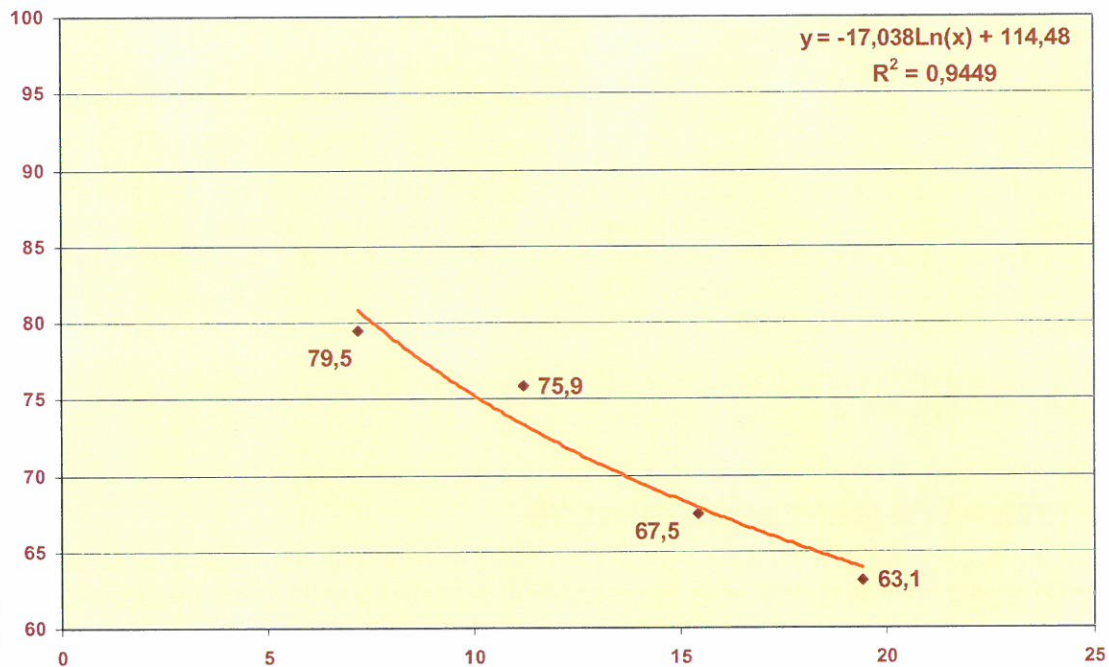
 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale <p style="text-align: center;">STUDIO VIBRAZIONALE</p>				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

dove:

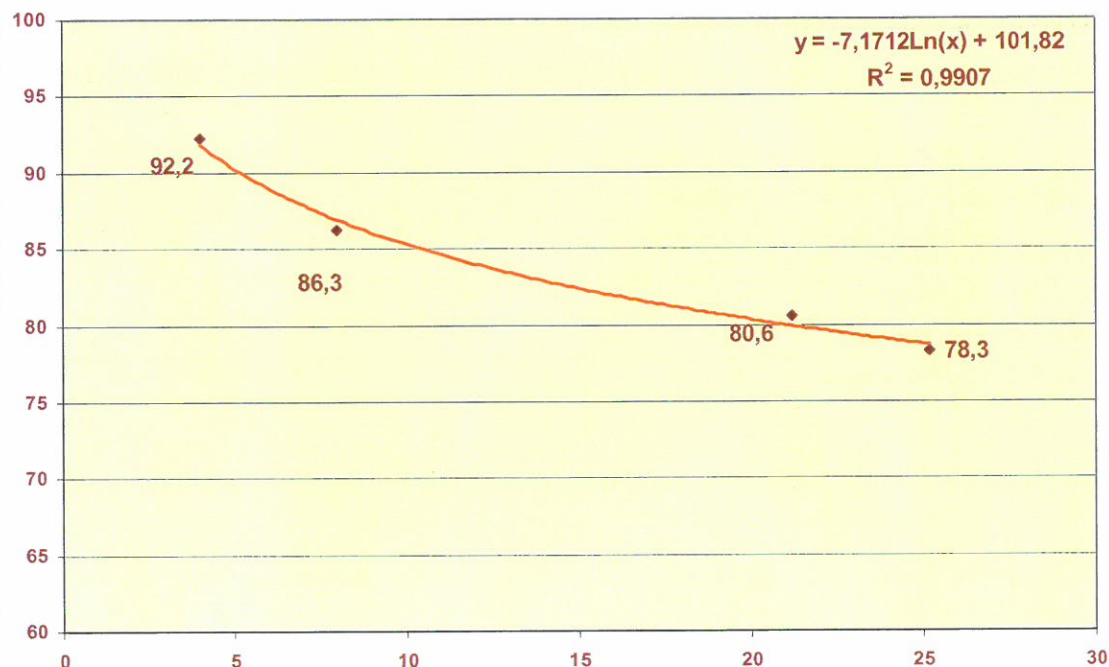
- L e L_0 sono i livelli di vibrazioni in decibel attenuato e alla sorgente
- R e R_0 sono le rispettive distanze riferite all'asse della linea
- gli indici c, t, s si riferiscono rispettivamente alle onde di compressione, di taglio e di superficie
- $\beta_c, \beta_t, \beta_s$ sono i fattori di importanza relativa tra i differenti meccanismi di propagazione delle onde del terreno
- K_c, K_t, K_s sono i coefficienti di attenuazione geometrica per i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno
- $\alpha_c, \alpha_t, \alpha_s$ sono i fattori di perdita per dissipazione per i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno [dB]
- V_c, V_t, V_s sono le velocità di propagazione delle onde nel terreno [m/s]
- f è la frequenza [Hz]


Da quanto detto sopra si rileva chiaramente la molteplicità delle variabili in gioco nella trasmissione delle onde vibrazionali nel terreno ed è proprio in considerazione di ciò che, nel presente studio si è considerato più corretto operare con la costruzione di un modello su base sperimentale. A tal proposito si nota che conoscendo la mutua distanza tra le postazioni, dai dati misurati in loco è stato possibile estrapolare le funzioni di trasferimento che descrivono l'attenuazione del terreno in funzione della distanza. Nel caso specifico la curva di regressione è stata costruita in base ai valori medi calcolati relativamente al transito dei treni locali, che costituiscono il campione più numeroso e quindi statisticamente rappresentativo:

SEZIONE 1 PARABIAGO - CURVA DI ATTENUAZIONE DEL TERRENO



SEZIONE 2 CASTELLANZA - CURVA DI ATTENUAZIONE DEL TERRENO



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

Si nota che le equazioni sopra riportate evidenziano in tutti i casi un coefficiente di correlazione elevato.

Dalle equazioni di regressione è stato possibile ricavare la funzione di abbattimento del terreno come di seguito riportato:

- Sezione 1 $\Delta L_{\text{terreno S1}} = 39,231 \cdot \text{Log}(d) - 23,62 \text{dB}$

- Sezione 2 $\Delta L_{\text{terreno S2}} = 16,512 \cdot \text{Log}(d) - 9,941 \text{dB}$

Le curve di attenuazione elaborate confermano quanto già anticipato nel paragrafo 7.2 e cioè il maggiore effetto di attenuazione riscontrato nella sezione 1 di Parabiago. Tale effetto risulta peraltro particolarmente elevato anche in relazione ad analoghe campagne di monitoraggio che mediamente mostrano in presenza di terreni sciolti a sabbia e ghiaia valori di attenuazione degli 0,8-0,9 dB/m..

In un'ottica cautelativa nel presente studio si utilizzerà pertanto l'equazione calcolata per la sezione 2 di Castellanza.

8.1.3.1 Valutazione dell'emissione dei rotabili

Al fine di individuare un valore caratteristico della emissione dei rotabili ci si baserà nel presente studio sui dati rilevati nelle due sezioni in prossimità della linea (postazione 4).

In via cautelativa l'emissione da utilizzare nelle simulazioni sarà stimata considerando il 90° percentile di tutti i rilievi effettuati, previa omogeneizzazione in base a velocità e distanza, come riportato nel paragrafo 8.1.2.1.

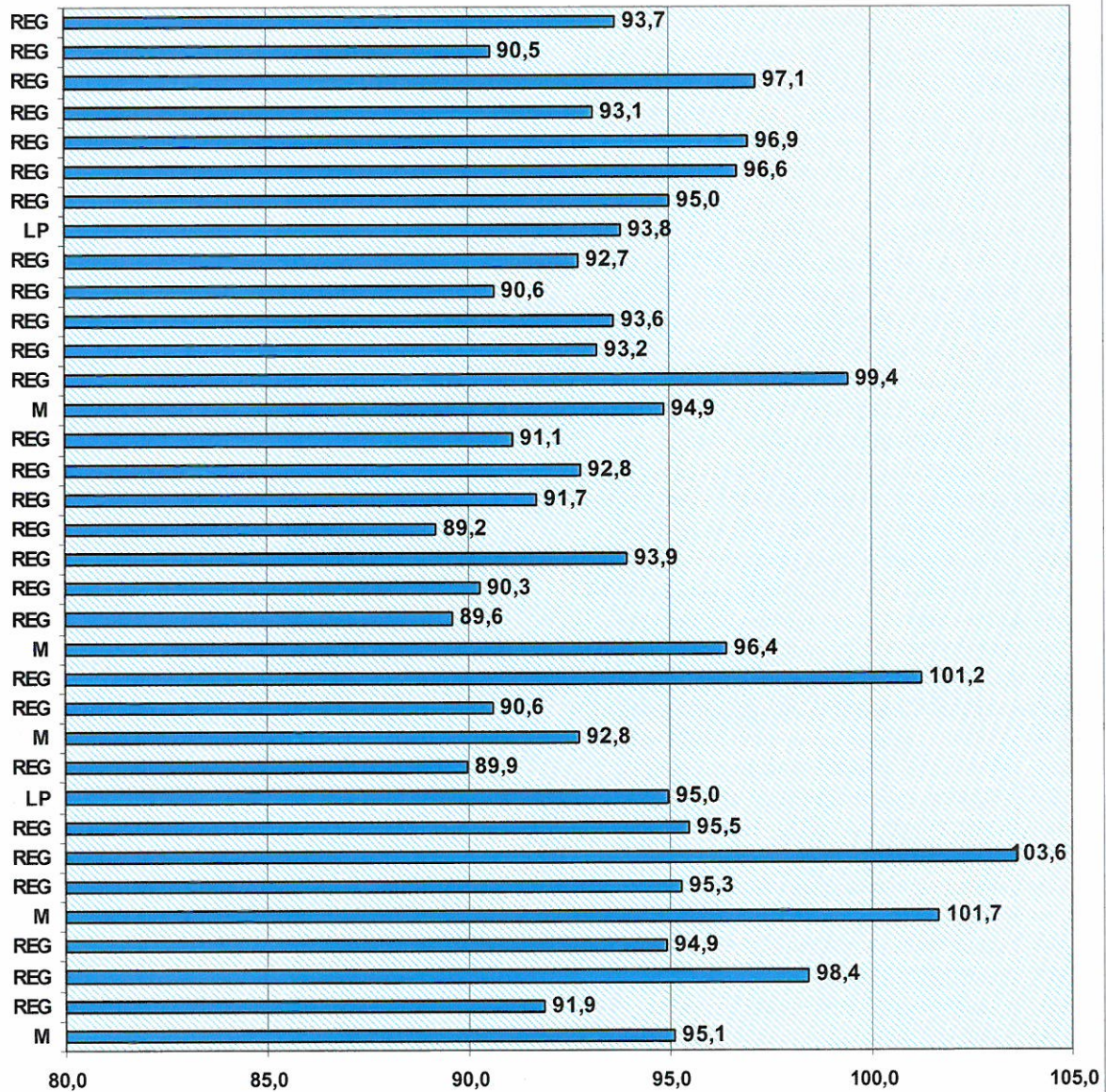
Mediante le relazioni matematiche riportate nei paragrafi precedenti, tutti dati rilevati nelle postazioni 4 delle due sezioni sono stati riportati alle velocità di progetto e alla distanza di riferimento che viene fissata in 4 m dal binario di corsa.

In particolare per le velocità di progetto, il tracciato è stato suddiviso in 3 tratte come riportato in tabella.

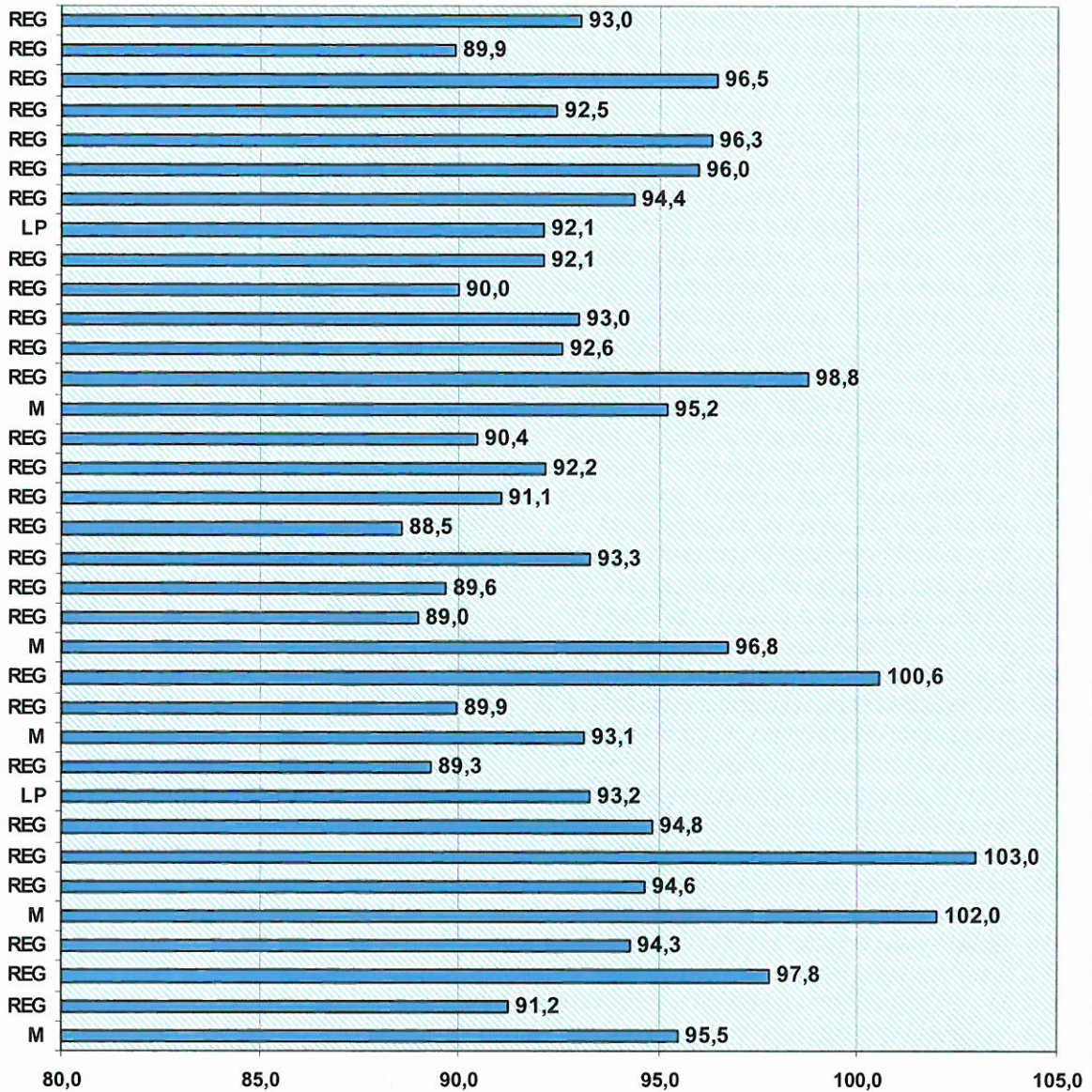
TRATTO	MERCI	LUNGA PERCORRENZA	REGIONALI
<i>Km 0+000 - 13+000</i>	120	195	140
<i>Km 13+000 - 15+000</i>	125	160	130
<i>Km - 15+000- 24+000</i>	120	130	140
<i>Km 24+000 – fine progetto</i>	100	155	105

Nei seguenti diagrammi si riportano per i diversi tratti i valori delle emissioni omogeneizzate.

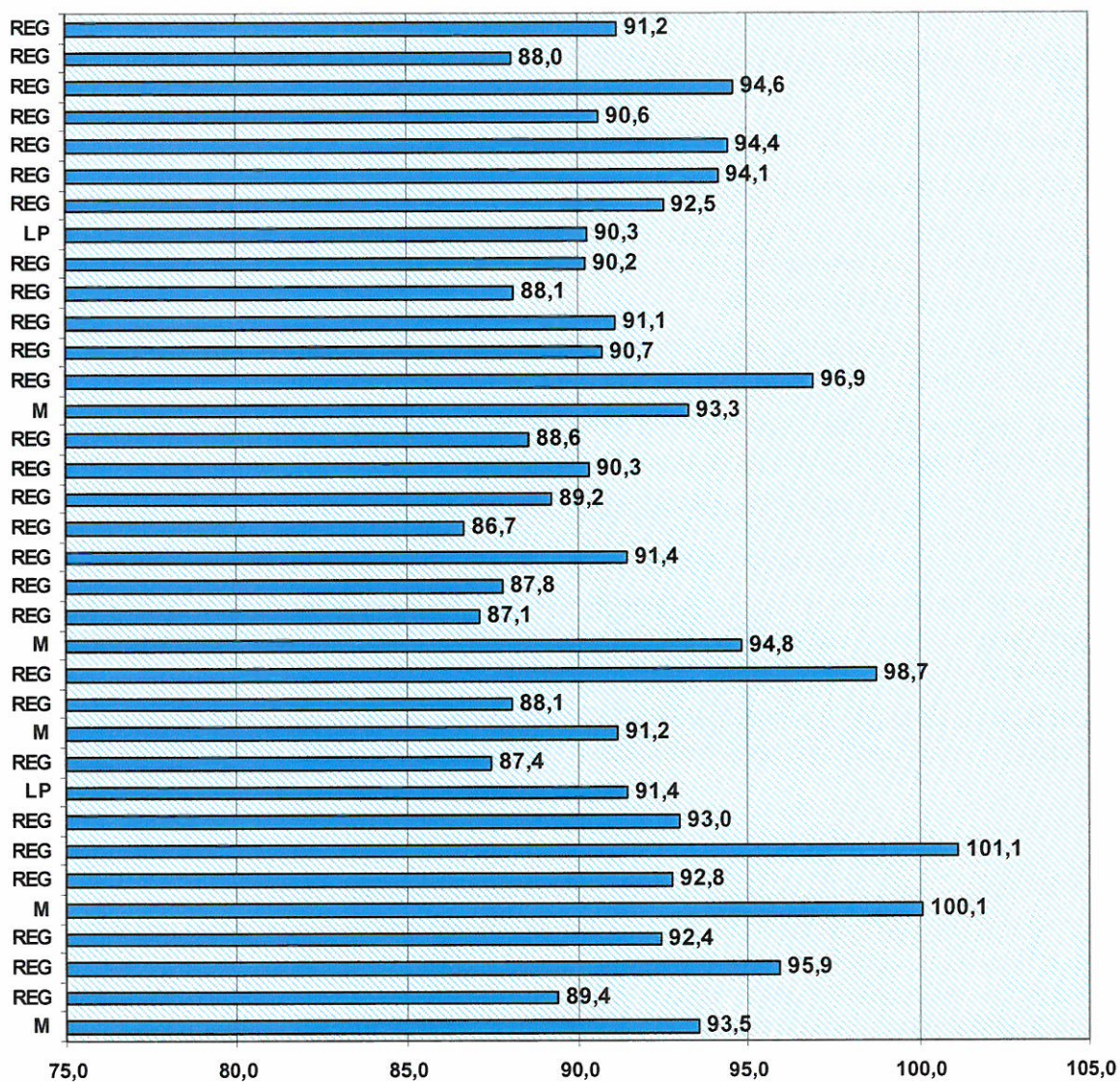
LIVELLI DI EMISSIONE OMOGENEIZZATI
TRATTA DA KM 0+000 A 13+000 E DA KM 15+000 A KM 24+000



**LIVELLI DI EMISSIONE OMOGENEIZZATI
TRATTA DA KM 13+000 ALKM 15+000**




**LIVELLI DI EMISSIONE OMOGENEIZZATI
TRATTA DA KM 24+000 A FINE INTERVENTO**



Dall'analisi dei dati riportati in tabella si rilevano i valori di emissione (90° percentile) riportati in tabella.

TRATTO	LIVELLO EMISSIONE A 4 m [d(B)]
<i>Km 0+000 - 13+000</i>	99,0
<i>Km 13+000 -15+000</i>	98,4
<i>Km - 15+000- 24+000</i>	99,0
<i>Km 24+000 - fine progetto</i>	96,5

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale STUDIO VIBRAZIONALE				
	Relazione Generale	PROGETTO MDL1	LOTTO 12	DOCUMENTO D22 RH SA000A 003	REV A

8.1.3.2 Trasmissione delle vibrazioni agli edifici

Le vibrazioni si trasmesse agli edifici subiscono un primo abbattimento in corrispondenza del sistema fondazionale propagandosi verso l'alto variando da piano a piano.

Dal punto di vista delle fondazioni, gli edifici adiacenti alla linea possono essere classificati come:

- edifici su fondazione diretta (plinti isolati o su travi continue)
- edifici su fondazione indiretta (pali)

Un ulteriore fattore di non trascurabile importanza è connesso con la massa dell'edificio stesso quantificabile attraverso il numero di piani interrati e fuori terra e dall'armatura delle strutture e dalla orditura dei solai.

Da un'analisi di regressione dei risultati sperimentali è stato possibile estrapolare le funzioni di trasferimento che descrivono la risposta degli edifici alle vibrazioni.

L'effetto combinato attenuazione fondazioni + amplificazione solai (N_p = numero di piani abitati) è nello specifico dato dalla seguente relazione:

$$\text{Sezione 1 Parabiago} - \Delta L_{EP} = 6,8 - 1,6 N_p \text{ dB}$$

$$\text{Sezione 2 Castellanza} - \Delta L_{EP} = 19,1 - 1,6 N_p \text{ dB}$$

E' da evidenziare che il maggiore abbattimento riscontrato alle fondazioni nella sezione 2 è verosimilmente dovuto alla presenza del seminterrato dove vi è una cantina/garage e alla posizione del punto di rilevamento (piano rialzato).


In un'ottica cautelativa le simulazioni saranno effettuate applicando la relazione attenuazione fondazioni + amplificazione solai elaborata in base ai dati della sezione 1 di Parabiago.

8.1.4 Individuazione delle criticità e previsione dell'impatto post operam

L'individuazione delle criticità che si potranno verificare con la realizzazione del progetto ha reso indispensabile determinare preventivamente i criteri di valutazione della sensibilità del territorio. A tale scopo è stato utilizzato come riferimento il censimento dei ricettori dello studio di impatto ambientale aggiornato con le verifiche effettuata in questa fase di studio.

I ricettori potenzialmente impattati sono costituiti da fabbricati residenziali mediamente di 2 piani di altezza.

Per quanto riguarda l'individuazione di criticità, si è fatto riferimento ai valori suggeriti dalla norma ISO 2631/UNI 9614 per le vibrazioni prodotte da veicoli ferroviari. Il valore adottato nel presente progetto è pertanto pari a 86,7 dB per il periodo notturno.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Potenziamento della linea ferroviaria Rho-Arona. Tratta Rho – Gallarate. Quadruplicamento Rho-Parabiago e raccordo y Primo lotto funzionale				
	STUDIO VIBRAZIONALE				
Relazione Generale	PROGETTO	LOTTO	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
	MDL1	12	D22 RH SA000A 003	A	45 di 45

9 INDIVIDUAZIONE DELLE CRITICITÀ E PREVISIONE DELL'IMPATTO POST OPERAM

Applicando il modello sviluppato su base sperimentale descritto nei paragrafi precedenti sono state individuati tutti i fabbricati residenziali in corrispondenza dei quali vi è da attendersi l'insorgere di situazioni di disturbo alle persone.

Dalla localizzazione lungo il tracciato di tali fabbricati sono stati quindi derivati i tratti di linea da considerare critici per l'impatto vibrazionale. Gli stessi sono riportati nelle planimetrie in scala 1:2000 (doc MDL1 12 D22 N6 SA000A 035 A ÷ MDL1 12 D22 N6 SA000A 040 A).

Nella tabella seguente si riporta in sintesi l'elenco dei tratti in cui le analisi effettuate hanno evidenziato un impatto vibrazionale.

QUADRO GENERALE DEI TRATTI CRITICI PER L'IMPATTO VIBRAZIONALE

Codice	Ubicazione	Km inizio	Km fine	Lunghezza [m]
VIB 01	Pregnana Milanese	1+265	1+615	350
VIB 02	Pregnana Milanese	1+815	2+030	215
VIB 03	Pregnana Milanese - Vanzago	2+305	2+605	300
VIB 04	Vanzago - Pogliano Milanese	2+885	4+035	1150
VIB 05	Parabiago	7+400	7+550	150
VIB 06	Parabiago	7+865	8+000	135
VIB 07	Parabiago	8+330	8+480	150
VIB 08	Parabiago	8+590	8+690	100
VIB 14	Busto Arsizio	16+755	16+805	50

TOTALE

2.600

E' importante comunque sottolineare che i tratti critici riportati in tabella sono stati individuati in un'ottica di estrema tutela rispetto al possibile insorgere di situazioni di disturbo alle persone. Tali tratti non hanno pertanto alcun rapporto con situazioni di danno strutturale ai fabbricati, che, come evidente, sono correlati a livelli delle vibrazioni di grandezza di gran lunga superiore rispetto alla soglia di disturbo alle persone.

Nei tratti in cui risulta sensibile l'effetto delle vibrazioni, nella successiva fase di progettazione esecutiva verrà valutata la possibilità di utilizzare il subballast in conglomerato bituminoso additivato con granuli di gomma, nei tratti con velocità bassa ed in ambito di stazione ed inoltre si potrà valutare per altri tratti la tipologia di miglior mitigazione anche a valle dei risultati delle sperimentazioni in corso sui nuovi sistemi di intervento con funzione antivibrante.

