



Regione Lombardia
Direzione Generale Infrastrutture e Mobilità



CODICE COMMESSA	LIVELLO PROGETTAZIONE	D.P.R. 207/10	PROGRESSIVO ELABORATO	CATEGORIA OPERA	NUMERO OPERA	REVISIONE	SCALA
Q 0 3	D	b	0 2 4	I T	- -	R 0	---

AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO DEL
NODO DI BOVISA - COMUNE DI MILANO
Progetto Definitivo

Relazione tecnica di misura e valutazione delle vibrazioni
dell'edificio ricettore Politecnico Milano Bovisa

Revisioni		Data	Descrizione	Redatto	Controllato
	3				
	2				
	1				
	0	Ott. 2020	Prima emissione		

NORD_ING

NORD_ING S.r.l.
IL DIRETTORE TECNICO
Ing. Antonella Volta

FERROVIENORD

FERROVIENORD S.p.A.
DIREZIONE SVILUPPO INFRASTRUTTURA
IL DIRETTORE
Ing. Marco Mariani

Progettista



Collaborazione



REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE			AGG.







FILE:



RAMO MILANO e RAMO ISEO

**Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale
di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti**

**SERVIZIO Q03
AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE
DEL NODO BOVISA
RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI
SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA**

Documento RTdM-2020-003-01.doc	Progetto NORD-ING-2019-01	Pagine report 36
Revisione 00 01	Data revisione Febbraio 2020 Marzo 2020	Allegati TAVV. 1 ÷ 22
Redatto da Davide Pulcini Andrea Pezzoli	Firma  	
Verificato da Marco Bonomi Tecnico Competente nel Campo dell'Acustica Ambientale art.2, commi 6 e 7 Legge n° 447/95. Regione Lombardia – Decreto 3745/2017	Firma 	
Condiviso da Andrea Cerniglia Tecnico Competente nel Campo dell'Acustica Ambientale art.2, commi 6 e 7 Legge n° 447/95. Regione Lombardia – Decreto 6446/2009	Timbro & Firma 	
Approvato da Paolo Pezzoli Tecnico Competente nel Campo dell'Acustica Ambientale art.2, commi 6 e 7 Legge n° 447/95. Regione Lombardia – Decreto 1596/1998	Timbro & Firma 	

	<p align="center"> FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA </p>	<p align="right"> RTdM-2020-003-01.doc pag. 2 Marzo 2020 </p>
---	--	---

STORIA DELLE MODIFICHE

DATA	VERSIONE	DESCRIZIONE CAMBIAMENTI	RIFERIMENTI / NOTE
Febbraio 2020	00	Prima emissione in fase di progetto.	
Marzo 2020	01	Seconda emissione in fase di progetto.	

Indice

Sommario

1.	INTRODUZIONE	4
1.1.	Premesse	4
1.2.	Obiettivo	4
1.3.	Approccio tecnico-operativo dello studio vibrazionale	4
1.4.	Descrizione dell'area interessata dal monitoraggio e dell'edificio ricettore.....	4
1.5.	Riferimenti.....	4
2.	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA.....	6
3.	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	8
3.1.	Data Logger dinamico HBM Quantum X	8
3.2.	Terne sismometriche Veloget V3D	9
3.3.	Condizionatore per sismometri Veloget 3D.....	11
3.4.	Bobine di cavo di prolunga per sismometri VELOGET 3D	12
3.5.	Banco di calibrazione 1 ÷ 110 Hz a massa flottante in acciaio da 3860 Kg	13
4.	INDAGINI EFFETTUATE	14
4.1.	Posizioni di misura indagate	14
4.2.	Monitoraggi effettuati	15
5.	RISULTATI OTTENUTI.....	16
6.	CONCLUSIONI	18
6.1.	Valutazioni nelle condizioni ante-operam	18
6.2.	Valutazioni nelle condizioni post-operam	19
7.	ELEMENTI DI MITIGAZIONE DELLE VIBRAZIONI	21
8.	APPENDICE – MODALITÀ DI TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI NEL SUOLO.....	24
8.1.	Leggi di attenuazione nel suolo	24
8.2.	Valutazioni della matrice e delle caratteristiche del terreno	26
8.3.	Caratteristiche geo-fisiche / geo-dinamiche del terreno alluvionale di Milano	28
8.4.	Caratteristiche dei convogli (materiale rotabile di Treni Nord)	31
8.5.	Valutazione delle curve di attenuazione.....	33
8.6.	Bibliografia sull'argomento	35



Indice delle figure

Figura 1	Foto satellitari dell'area di interesse	5
Figura 2	Posizioni di misura indagate	14
Figura 3	Esempio di grafico nel tempo (Registrazione 010).....	18
Figura 4	Layout dei binari ante-operam	20
Figura 5	Layout dei binari post-operam	20
Figura 6	Esempio di caso di studio della risposta del binario per la soluzione attrezzata con materassino elastomerico	22
Figura 7	Esempio di caso di studio della risposta del binario per la soluzione non attrezzata con materassino elastomerico	23
Figura 8	Mappa delle indagini geofisiche disponibili	29
Figura 9	Profili velocità delle onde sismiche nel suolo con la profondità	30
Figura 10	Materiale Rotabile – Elettrotreni	31
Figura 11	Tipologici Materiale Rotabile – Elettrotreni.....	31
Figura 12	Schema di sequenza di sorgenti di emissione vibrazionale	33
Figura 13	Attenuazioni secondo il modello di sorgente lineare	34
Figura 14	Attenuazioni secondo il modello di sequenza di sorgenti puntiformi.....	34



Tabella 1	Numero di transito di treni per ciascun binario del Nodo Bovisa.....	15
Tabella 2	Elenco delle registrazioni e indice delle tavole correlate per i risultati	17
Tabella 3	Sintesi dei parametri statistici per gli indicatori vibrazionali.....	17
Tabella 4	Livelli medi [mm/s ²]	19
Tabella 5	Previsione di massima dei livelli di vibrazione post-operam.....	19
Tabella 6	Aree di intervento e mitigazioni di riferimento.....	21
Tabella 7	Coefficienti di attenuazione geometrica per i differenti meccanismi di propagazione	25
Tabella 8	Fattori di importanza relativa tra i differenti meccanismi di propagazione	26
Tabella 9	Parametri geo-dinamici di riferimento assunti nelle simulazioni	28
Tabella 10	Materiale Rotabile di Treni Nord	32
Tabella 11	Elenco bibliografico sull'argomento.....	35



Foto 1	Edificio Ricettore indagato del Politecnico di Milano Bovisa	6
Foto 2	Posizione di Misura MP1 – Esterno al Piano Terra dell'Edificio Ricettore	6
Foto 3	Posizione di Misura MP2 – Interno al Primo Piano dell'Edificio Ricettore.....	6
Foto 4	Posizione di Misura MP1 – Esterno al Piano Terra dell'Edificio Ricettore – Dettagli.....	6
Foto 5	Posizione di Misura MP2 – Interno al Primo Piano dell'Edificio Ricettore – Dettagli	7
Foto 6	Layout dell'infrastruttura ferroviaria FN	7
Foto 7	Data logger dinamico (Sistema di acquisizione digitale)	7

	<p align="center"> FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA </p>	<p align="right"> RTdM-2020-003-01.doc pag. 4 Marzo 2020 </p>
---	--	--

1. INTRODUZIONE

1.1. Premesse

La presente relazione tecnica di misura interessa il Servizio Q03 ⁽¹⁾ – relativo all'ammodernamento e potenziamento infrastrutturale del Nodo Bovisa e riguarda la valutazione di impatto ambientale delle vibrazioni sull'edificio ricettore Politecnico di Milano Bovisa in prossimità dei binari dei binari di FERROVIENORD.

1.2. Obiettivo

Obiettivo del presente documento è fornire valutazioni e studi di impatto ambientale per la componente riguardante le vibrazioni ferroviarie.

1.3. Approccio tecnico-operativo dello studio vibrazionale

L'approccio tecnico-operativo dello studio vibrazionale prevede il monitoraggio per 24 ore delle vibrazioni indotte nell'ambito dell'esercizio nelle condizioni attuali (ante-operam) della citata Infrastruttura delle FERROVIENORD, in prossimità del Nodo Bovisa.

1.4. Descrizione dell'area interessata dal monitoraggio e dell'edificio ricettore

Con riferimento alle foto satellitari dell'area di interesse di Figura 1, l'edificio ricettore indagato fa parte dell'insediamento del Politecnico di Milano Bovisa in prossimità dell'infrastruttura ferroviaria ubicata a Ovest della Stazione FN Bovisa a cui confluisce un fascio di otto binari numerati da ❶ a ❸ da Ovest a Est (vedi Foto 6).

L'edificio Ricettore (vedi Foto 1) si trova a Ovest del citato fascio di otto binari, di cui i primi due interessano una trincea con presenza di muri di sostegno / paratie per i terrapieni a quota di campagna (vedi Foto 6).

In particolare l'edificio ricettore indagato fa parte dell'esteso insediamento alla Bovisa del Politecnico di Milano. Sul lato sud ed in aderenza, dell'edificio destinato ad ampio laboratorio prove meccaniche nel settore ferrotranviario ed automobilistico dell'Istituto di Meccanica del Politecnico di Milano, si ha la presenza di un edificio su due piani fuori terra destinato ad uffici (vedi Foto 1, Foto 2 e Foto 3). L'edificio è a pianta rettangolare (circa 12 × 35 m) ed ha una ossatura portante mista in acciaio e calcestruzzo armato. È stato scelto questo edificio sia perché è il più prossimo alla rete ferroviaria FN (circa 50 m), sia per la destinazione d'uso, più vulnerabile rispetto ad altre destinazioni come ad esempio laboratori di prova non metrologici.

In tale area, a distanze differenti, sono inoltre presenti edifici ricettori relativi all'insediamento dell'Istituto di Ricerche Farmacologiche Mario Negri e la Sotto-Stazione Elettrica (SSE) dell'infrastruttura ferroviaria (vedi le foto satellitari di Figura 1).

1.5. Riferimenti

Riferimenti normativi e valori limite di riferimento per le vibrazioni sono stati esposti rispettivamente al §. 3.1 (*per i riferimenti normativi per le vibrazioni*) ed ai §. 4.1 (*per la valutazione del disturbo delle vibrazioni alle persone*) e §. 4.3 (*per gli effetti delle vibrazioni sugli edifici*) della citata RTG [A]. Per il glossario si faccia riferimento al §. 8 della stessa citata RTG [A].

⁽¹⁾ Inteso come aree di intervento su linee esistenti.

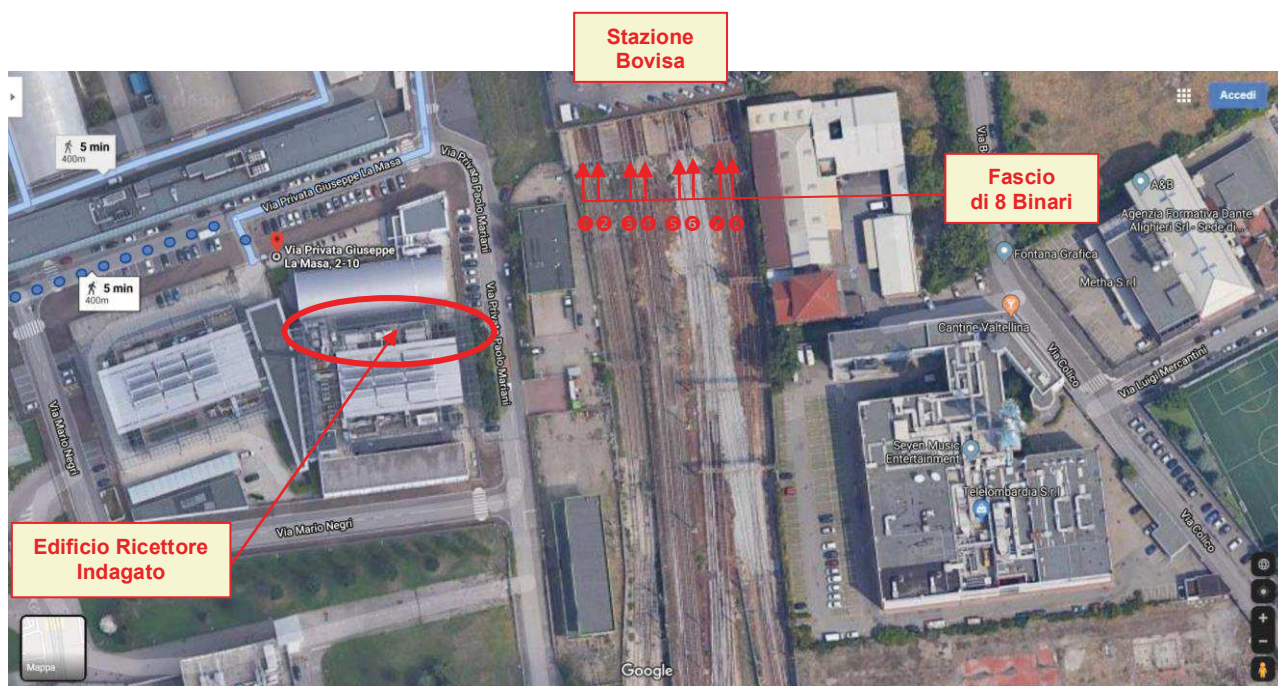


Figura 1 Foto satellitari dell'area di interesse

2. DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1 Edificio Ricettore indagato del Politecnico di Milano Bovisa



Foto 2 Posizione di Misura MP1 – Esterno al Piano Terra dell'Edificio Ricettore



Foto 3 Posizione di Misura MP2 – Interno al Primo Piano dell'Edificio Ricettore



Foto 4 Posizione di Misura MP1 – Esterno al Piano Terra dell'Edificio Ricettore – Dettagli





Foto 5 Posizione di Misura MP2 – Interno al Primo Piano dell'Edificio Ricettore – Dettagli



Foto 6 Layout dell'infrastruttura ferroviaria FN



**Foto 7 Data logger dinamico
(Sistema di acquisizione digitale)**

3. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

3.1. Data Logger dinamico HBM Quantum X



Costruttore / Assemblatore	HBM – Darmstadt (Germania)
Modello	QUANTUM X / 1-MX840-PAKEASY
Descrizione	Otto canali analogico differenziali di ingresso per misure con trasduttori resistivi ed induttivi a mezzo e ponte intero, tensioni continue max ± 10 V, PT 100, IEPE (ICP).
Applicazione	Le Unità Quantum X connesse, via porta LAN, ad un PC, su piattaforma MS-Windows, dotato di software applicativo "Catman Easy – HBM", costituiscono un sistema automatico orientato all'acquisizione di segnali analogici (da 8 a 64 canali) provenienti da trasduttori pre-condizionati e/o da condizionare.
Canali	8 (16 in configurazione Master & Slave)
Risoluzione	24 bit Delta Sigma converter
Frequenza di campionamento	Decimal: da 0.1 a 40 000 campionamenti al secondo HBM classic: da 0.1 a 38 400 campionamenti al secondo
Filtri antialiasing regolabili attivi	Bessel, Butterworth, linear phase 0.001 5000 Hz (-3dB) Filter OFF
Connessione al PC	LAN
Espansione	Fino a 64 canali con moduli sincronizzabili con collegamento a catena da 8 canali.
Accessori	Alimentatore (1-NTX001) 8 Spine per trasduttori con TEDS (1-SUBHD15-MALE) Cavo Ethernet cross-over (1-KAB239-2) HBM Software catman®Easy 1 x Ethernet TCP/IP 2 x Firewire Alimentazione: 10-30 V DC, max. 12 Watt Tipo di protezione IP20
Alimentazione	220 Vac / 50 Hz
Dimensione (L x P x H)	52 ⁵ mm x 200 mm x 121 mm
Peso	980 g
Quantità	n. 2
Model - SN	MX840B – 0009E500783B MX840B – 0009E500776A

3.2. Terne sismometriche Veloget V3D



Costruttore / Assemblatore	Solgeo – Seriate (BG)
Modello	Veloget V3D
Descrizione	Velocimetro tri-direzionale di classe I per misure di vibrazioni conforme alle normative elencate. È costituito da terna geofonica linearizzata elettronicamente, con dinamica superiore a 100 dB. È alloggiato in un robusto case metallico IP67, è dotato di piedini regolabili e bolla di controllo. La sofisticata elettronica interna prevede la gestione dei test programmabili inviati dall'acquisitore per avere costantemente la garanzia di corretto funzionamento.
Normative	DIN 4150-3 UNI 9916 DIN 45669-1 UNI 9614
Campo di frequenza	Range 1 1 ÷ 80.....Hz (±0.5 dB) Range 2 1 ÷ 315Hz (±0.5 dB)
Campo di misura:	± 12.5 mm/s ± 125 mm/s
Costante di trasduzione	40 mV/ 1 mm/s 400 mV/ 1 mm/s
Accuratezza	± 0.4 dB – Classe 1 (DIN 455699-1)
Alimentazione	10-18 Vcc
Consumi	240 mW
Test interno	Impulsivo ± 10mm/s – Indipendente per ogni canale
Installazione	I sismometri sono installati direttamente a contatto della posizione di misura. Nel caso di impiego nel terreno, è consigliato l'interposizione di un piano rigido (es. piastrina, malta di allettamento, etc.) tra il sensore e il terreno stesso.
Dimensione (L × P × H)	150 mm × 100 mm × 90 mm
Peso	2,1 kg
Quantità	n. 10 (30 canali di misura)
Calibrazione	Prima dell'impiego, i velocimetri tri-direzionali utilizzati sono calibrati su un banco vibrazionale operante in modo iso-frequenziale tra 1 ÷ 110 Hz (vedi 3.5). La procedura di calibrazione utilizza come riferimento il sismo-accelerometro PCB ICP 393A03 n/s 24679 dotato di Certificato di Taratura Accredia Lat 163 20380 V del 19.04.2019 emesso dal Laboratorio Sky Lab di Arcore (MB) (vedi allegato nel seguito alla successiva pagina).
Numero di serie	SN 0014 SN 0017 SN 0015 SN 0018 SN 0016

Certificato di Taratura Accredia Lat 163 20380 V del 19.04.2019
emesso dal Laboratorio Sky Lab di Arcore (MB)



Sky-lab S.r.l.
Area Laboratori
Via Belvedere, 42 Arcore (MB)
Tel. 039 6133233
skylab.tarature@outlook.it

Centro di Taratura LAT N° 163
Calibration Centre
Laboratorio Accreditato di
Taratura



LAT N° 163

Pagina 1 di 5
Page 1 of 5

CERTIFICATO DI TARATURA LAT 163 20380-V
Certificate of Calibration LAT 163 20380-V

- data di emissione <i>date of issue</i>	2019-04-19
- cliente <i>customer</i>	SPECTRA S.R.L. 20862 - ARCORE (MB)
- destinatario <i>receiver</i>	INDAPRO S.R.L. 24066 - PEDRENGO (BG)
- richiesta <i>application</i>	Accordo Spectra
- in data <i>date</i>	2019-01-07
Si riferisce a <i>Referring to</i>	
- oggetto <i>item</i>	Accelerometro + Condizionatore
- costruttore <i>manufacturer</i>	PCB Piezotronics + PCB Piezotronics
- modello <i>model</i>	393A03 + 480E09
- matricola <i>serial number</i>	24679 + 27507
- data di ricevimento oggetto <i>date of receipt of item</i>	2019-04-18
- data delle misure <i>date of measurements</i>	2019-04-19
- registro di laboratorio <i>laboratory reference</i>	Reg. 03

Il presente certificato di taratura è emesso in base all'accreditamento LAT N° 163 rilasciato in accordo ai decreti attuativi della legge n. 273/1991 che ha istituito il Sistema Nazionale di Taratura (SNT). ACCREDIA attesta le capacità di misura e di taratura, le competenze metrologiche del Centro e la riferibilità delle tarature eseguite ai campioni nazionali e internazionali delle unità di misura del Sistema Internazionale delle Unità (SI). Questo certificato non può essere riprodotto in modo parziale, salvo espressa autorizzazione scritta da parte del Centro.

This certificate of calibration is issued in compliance with the accreditation LAT N° 163 granted according to decrees connected with Italian law No. 273/1991 which has established the National Calibration System. ACCREDIA attests the calibration and measurement capability, the metrological competence of the Centre and the traceability of calibration results to the national and international standards of the International System of Units (SI). This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing Centre.

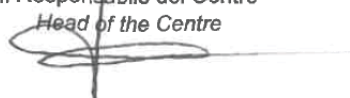
I risultati di misura riportati nel presente Certificato sono stati ottenuti applicando le procedure di taratura citate alla pagina seguente, dove sono specificati anche i campioni o gli strumenti che garantiscono la catena di riferibilità del Centro e i rispettivi certificati di taratura in corso di validità. Essi si riferiscono esclusivamente all'oggetto in taratura e sono validi nel momento e nelle condizioni di taratura, salvo diversamente specificato.

The measurement results reported in this Certificate were obtained following the calibration procedures given in the following page, where the reference standards or instruments are indicated which guarantee the traceability chain of the laboratory, and the related calibration certificates in the course of validity are indicated as well. They relate only to the calibrated item and they are valid for the time and conditions of calibration, unless otherwise specified.

Le incertezze di misura dichiarate in questo documento sono state determinate conformemente alla Guida ISO/IEC 98 e al documento EA-4/02. Solitamente sono espresse come incertezza estesa ottenuta moltiplicando l'incertezza tipo per il fattore di copertura k corrispondente ad un livello di fiducia di circa il 95 %. Normalmente tale fattore k vale 2.

The measurement uncertainties stated in this document have been determined according to the ISO/IEC Guide 98 and to EA-4/02. Usually, they have been estimated as expanded uncertainty obtained multiplying the standard uncertainty by the coverage factor k corresponding to a confidence level of about 95%. Normally, this factor k is 2.

Il Responsabile del Centro
Head of the Centre



3.3. Condizionatore per sismometri Veloget 3D



Costruttore / Assemblatore	INDAPRO – Pedrengo (BG) – Italy CB Elettronica – Gorle (BG) – Italy
Modello	SVPU 5
Descrizione e Applicazione	La centralina, realizzata in un rack 3U84TE, è configurata per 5 canali composto da 3 linee di misura. Ogni canale linea di ingresso tratta appunto i tre segnali X-Y-Z dei Veloget 3D. Il rack è completato da un selettore per l'effettuazione di un segnale di calibrazione sul canale prescelto. 5 led posti in alto segnalano la corretta alimentazione del sensore Veloget 3D collegato.
Funzioni	Generatore di tensione (12 Volt ^{DC})
	Generatore di corrente per segnale di calibrazione
Canali triassiali	5
Alimentazione	220 V – 50 Hz
Dimensione (L × P × H)	500 mm × 350 mm × 150 mm
Peso	5,0 kg
Quantità	n. 3

3.4. Bobine di cavo di prolunga per sismometri VELOGET 3D



Costruttore / Assemblatore	INDAPRO – Pedrengo (BG) – ITALY
Modello o sigla di identificazione	Bobina
	UTS 1419
Descrizione e Applicazione	Bobine di cavo di prolunga per trasduttori di velocità (VELOGET 3D)
Compatibili con trasduttori tipo	Pre-condizionati con uscita in tensione
Tipo di connettore sul cavo	SOURIAU TRIM TRIO UTS1419 (maschio verso strumento di misura)
Tipo di cavo	Multipolare Solgeo CH/02 (a 8 coppie di filo intrecciato)
Lunghezza cavo	50 m
Quantità	n. 24

3.5. Banco di calibrazione 1 ÷ 110 Hz a massa flottante in acciaio da 3860 Kg



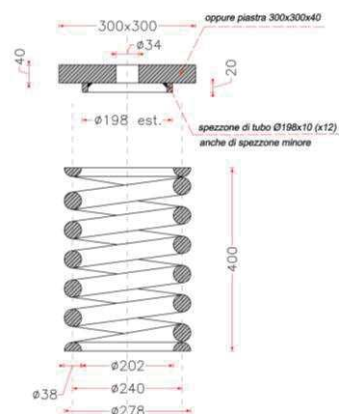
Costruttore / Assemblatore	INDAPRO – Pedrengo (BG) – Italy
Descrizione	Importante zavorra metallica, flottante su quattro sospensioni metalliche elicoidali.
Applicazione	<p>La zavorra può essere eccitata dinamicamente mediante martello dinamometrico (eccitazione impulsiva) o utilizzando la vibrodina (eccitazione sinusoidale iso-frequenziale).</p> <p>Almeno due sensori vibrazionali sono installati sulla zavorra in modo da misurare la stessa vibrazione (per posizione e per assi di sensibilità).</p> <p>Un sensore è quello da tarare / calibrare e un sensore è di riferimento, dotato di certificato di taratura Accredia.</p> <p>La taratura è effettuata per confronto tra le indicazioni dei due sensori.</p>
Campo di frequenza	1 ÷ 110 Hz
Massa della zavorra	3.860 kg circa
Dimensioni della zavorra (L × P × H)	2160 mm × 1270 mm × 205 mm foro centrale Ø 650 mm × 205 mm
Caratteristiche delle molle elicoidali	Vedi nel seguito a piè pagina.
Frequenza propria del sistema	2,85 Hz



MOLLE ELICOIDALI

MOLLA ELICOIDALE

Diametro medio spira	240 mm
Diametro della spira	38 mm
Lunghezza indeformata	400 mm
Lunghezza deformata	355 mm
numero di spire utili	5
numero di spire totali	7
Freccia a carico di 6,4 N	20 mm
Rigidezza	310 N/mm
N° Pezzi	4



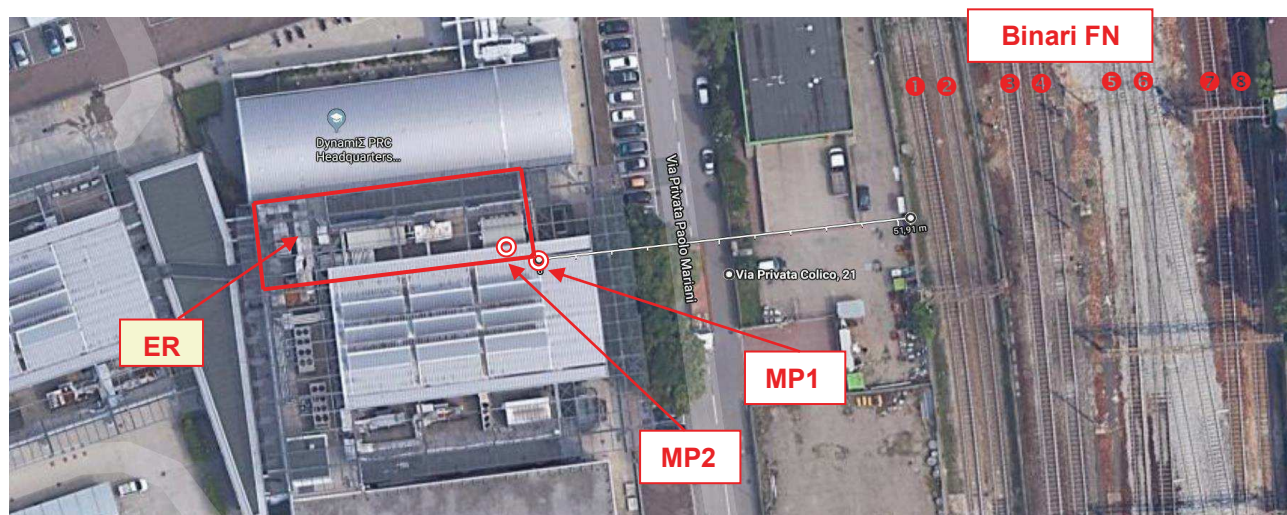
4. INDAGINI EFFETTUATE

4.1. Posizioni di misura indagate

Con riferimento alla successiva Figura 2, sono stati installate due terne sismometriche (vedi §. 3.2) così disposte:

- MP1.....Sensore triassiale posto all'esterno al piano terra in prossimità di un pilastro circolare dello spigolo Sud ÷ Est dell'Edificio Ricettore (vedi Foto 2 e Foto 4).
Numero di serie del sensore utilizzato 0017.
- MP2.....Sensore triassiale posto all'interno in un ufficio al primo piano. Il sensore è stato posto al centro dell'impalcato (vedi Foto 3 e Foto 5).
Numero di serie del sensore utilizzato 0018.

Tali sensori sono stati collegati, tramite cavo di misura (vedi §. 3.4), al condizionatore (vedi §. 3.3) e al data logger dinamico (vedi §. 3.1), ubicati all'interno dell'Edificio Ricettore, così come documentato dalla Foto 7.



(immagine © 2020 GoogleEarth, DigitalGlobe, CNES/Airbus)

Figura 2 Posizioni di misura indagate

4.2. Monitoraggi effettuati

I monitoraggi sono stati effettuati nelle giornate del 16 e 17 dicembre 2019, in modo da coprire complessivamente almeno 24 ore di esercizio delle FERROVIENORD.

Il sistema di acquisizione, operativo in modo continuo per tutto il periodo di monitoraggio, è stato impostato in modo da memorizzare “eventi” al superamento di 100 $\mu\text{m/s}$ per tutti i canali monitorati (in totale 6, determinate da due terne sismometriche installate nelle posizioni MP1 ed MP2).

Sono state raccolte le registrazioni (della durata di 50 s) relative a 42 eventi:

- Evento 001 data 16.12.2019.....ora 12:29
- Evento 002 data 16.12.2019.....ora 12:30
-
-
- Evento 041 data 17.12.2019.....ora 11:23
- Evento 042 data 17.12.2019.....ora 13:23

Il gestore della linea (in particolare il Servizio di Circolazione della Stazione Bovisa) ha reso disponibili i tabulati per le due giornate di monitoraggio (16 e 17 dicembre 2019) nei quali sono elencati oltre mille al giorno transiti di convogli ferroviari che interessano il Nodo Bovisa, indicando in particolare l'orario di partenza e/o di arrivo, il tipo di treno, la direzione, ed il binario impegnato (da 1 a 8 così come indicato nelle foto satellitari della già citata Figura 1). In Tabella 1 sono forniti – per le due giornate di monitoraggio – il numero di transito di treni per ciascun binario del Nodo Bovisa.

Tabella 1 **Numero di transito di treni per ciascun binario del Nodo Bovisa**

Binario	Numero di transiti di treni	
	Data 16.12.2019	Data 17.12.2019
1	88	88
2	84	86
3	146	146
4	145	145
5	185	185
6	172	170
7	126	126
8	67	68
1 ÷ 8	1013	1014

	<p style="text-align: center;">FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA</p>	<p style="text-align: right;">RTdM-2020-003-01.doc pag. 16 Marzo 2020</p>
---	---	---

5. RISULTATI OTTENUTI

I risultati del monitoraggio, in grafici e tabelle, sono raccolti nelle TAVV. 1 ÷ 22 dell'allegato.

Nella TAV. 1 (per la posizione MP1) e nella TAV. 2 (per la posizione MP2) sono riportati valori delle velocità di picco in [mm/s] in funzione dell'indice degli eventi registrati (1, 2, 42).

Valori di picco relativamente modesti sono riscontrati, per le posizioni MP1 ed MP2, inferiori a 0,5 mm/s.

Si ricorda che questo parametro rappresenta l'indicatore vibrazionale per la valutazione degli effetti delle vibrazioni sulle strutture (vedi §. 4.3 della RTG [A]).

Sulla base di questi primi dati sperimentali complessivi di quanto raccolto nel corso del monitoraggio sono stati considerati i primi 10 eventi / registrazioni, semplicemente in considerazione dell'assenza di registrazioni con livelli elevati ed in relazione al fatto che nel periodo di registrazione di questi 10 eventi è stata riscontrato direttamente transiti di treni sui binari più prossimi all'Edificio Ricettore indagato (Binari ❶ e ❷).

Per tali registrazioni, elencate nella successiva Tabella 2, si fornisce una analisi di maggior dettaglio in grafici e tabelle nelle TAVV. 3 ÷ 22 dell'allegato. In particolare per ciascuna registrazione:

- Tabella degli indicatori vibrazionali, così organizzata:
 - Colonna 1 Posizioni di misura (MP1-X,MP2-Z)
 - Colonna 2 Picco di velocità (peak) in [mm/s]
 - Colonna 3 velocità efficace (rms) in [mm/s], considerando il tempo di transito dei convogli (10 ÷ 20 s)
 - Colonna 4 Fattore di cresta, inteso come rapporto tra valori di picco e valori efficaci
 - Colonna 5 e 6..... Indicatore vibrazionale previsto dalla UNI 9614:1970 in [mm/s²]
 - Colonna 7 Indicatore vibrazionale previsto dalla UNI 9614:2017 in [mm/s²]
 - Colonna 8 Rapporto tra gli indicatori vibrazionali; rapporto tra l'indicatore previsto dalla UNI 9614:2017, rispetto a quello previsto dalla UNI 9614:1970

Per l'indice delle tavole vedere 4° colonna di Tabella 2.

- Grafici nel tempo della composizione vettoriale delle componenti X, Y e Z delle accelerazioni efficaci mobili valutati in un intervallo di 1 s (RMS slow), in [mm/s²]. Si ricorda che i valori massimi di questi grafici rappresentano l'indicatore vibrazionale previsto dalla UNI 9614:2017.
Per l'indice delle tavole vedere 5° colonna di Tabella 2.
- Spettri a terzi di ottava delle vibrazioni registrate, in [mm/s].
Per l'indice delle tavole vedere 6° colonna di Tabella 2.

Nelle registrazioni riprodotte in grafico in generale, nei 50 secondi della durata delle stesse registrazioni, raramente si ha la percezione della presenza di vibrazioni prodotte dal transito di convoglio ferroviario.

Ad esempio nella registrazione 005 (TAVV. 11 e 12) si osservano livelli di accelerazione ponderata abbastanza stazionari dell'ordine di 0,5 mm/s² (Pos. MP 1) e di 0,7 mm/s² (Pos. MP 2). Questa valutazione può essere estesa anche alle altre registrazioni riprodotte ad eccezione della registrazione 006 (TAVV. 13 e 14) e della registrazione 010 (TAVV. 21 e 22); infatti in queste registrazioni si verifica un transitorio della durata di poco più di 10 s nel corso del quale si ha un modesto innalzamento del livello di vibrazione rispetto al livello residuo.

Si ricorda che nella RTdM-2020-001-00 (vedi l'elenco del §. 2 della RTG [A]), relative al monitoraggio in prossimità del fascio di binario dell'Edificio Ricettore Sotto Stazione Elettrica (SSE), si sono stimate velocità di transito dei treni di circa 20 ÷ 40 km/h.

Tabella 2 *Elenco delle registrazioni e indice delle tavole correlate per i risultati*

Registrazione Evento	Data	Ora	Indice delle tavole correlate		
			Tabella degli indicatori vibrazionali	Grafico RMS slow	Spettri a terzi di ottava
001	16.12.2019	12:29	TAV. 3	TAV. 3	TAV. 4
002	16.12.2019	12:30	TAV. 5	TAV. 5	TAV. 6
003	16.12.2019	12:32	TAV. 7	TAV. 7	TAV. 8
004	16.12.2019	12:32	TAV. 9	TAV. 9	TAV. 10
005	16.12.2019	12:33	TAV. 11	TAV. 11	TAV. 12
006	16.12.2019	12:40	TAV. 13	TAV. 13	TAV. 14
007	16.12.2019	12:42	TAV. 15	TAV. 15	TAV. 16
008	16.12.2019	12:42	TAV. 17	TAV. 17	TAV. 18
009	16.12.2019	12:43	TAV. 19	TAV. 19	TAV. 20
010	16.12.2019	12:49	TAV. 21	TAV. 21	TAV. 22

Utilizzando i dati delle 10 registrazioni analizzate in dettaglio (vedi TAVV. 3 ÷ 22 dell'allegato), è stata effettuata una valutazione statistica per valutare i tre indicatori vibrazionali di interesse:

- Indicatore Vibrazionale UNI 9916:2014
Valore di picco della velocità i vibrazione [mm/s]
- Indicatore vibrazionale UNI 9614:1970
RMS dell'accelerazione ponderata [mm/s²]
- Indicatore vibrazionale UNI 9614:2017
Max(RMS-Slow) dell'accelerazione ponderata [mm/s²]

I risultati di questa analisi sono esposti nella successiva Tabella 3. I valori massimi e caratteristici sono spesso abbastanza allineati.

Mediamente si osserva valori sostanzialmente allineati per l'indicatore previsto dalla UNI 9614:1970, rispetto all'indicatore previsto dalla UNI 9614:2017.

Tabella 3 *Sintesi dei parametri statistici per gli indicatori vibrazionali*

Posizioni di Misura	Parametro Statistico	Velocità [µm/s]	Accelerazione ponderata [mm/s ²]	
		Indicatore Vibrazionale UNI 9916:2014 Valore di picco	Indicatore vibrazionale UNI 9614:1970 RMS	Indicatore vibrazionale UNI 9614:2017 Max(RMS-Slow)
MP1	Medio	132.0	0.7610	0.664
	Deviazione	0.4	0.0007	0.008
	Caratteristico	163.0	0.8042	0.812
	Massimo	160.0	0.8200	0.830
MP2	Medio	116.0	0.9310	0.921
	Deviazione	2.7	0.0029	0.020
	Caratteristico	201.5	1.0194	1.153
	Massimo	270.0	1.0200	1.160

6. CONCLUSIONI

6.1. Valutazioni nelle condizioni ante-operam

Nelle condizioni ante-operam, i risultati ottenuti evidenziano quanto segue:

- L'edificio ricettore indagato Politecnico di Milano Bovisa è riconducibile alla classe 2 (*"Edifici residenziali e costruzioni simili"*) così come previsti dalla UNI 9916:2014 (vedi §. 4.3 della RTG [A]). Per questa tipologia di edifici il valore limite dell'indicatore vibrazionale è pari a 5 mm/s, contro valori monitorati molto modesti inferiori a 0,2 mm/s. Pertanto sono da escludere danni strutturali anche di tipo minore per questa tipologia di edificio.
- L'edificio ricettore indagato Politecnico di Milano Bovisa rientra per la destinazione d'uso in *"scuole"* (con riferimento alla presenza di aule didattiche) e *"luoghi di lavoro"* (con riferimento alla presenza di uffici e laboratori) così come previsti dalla UNI 9614:2017 (vedi §. 4.1 della RTG [A]). Per queste destinazioni d'uso il valore limite dell'indicatore vibrazionale più restrittivo è pari a 5,4 mm/s², contro valori monitorati inferiori abbastanza più modesti (circa 1,0 mm/s²).
- Con questi valori non è facile identificare, nei grafici del tempo, il transito dei convogli ferroviari. Nella successiva Figura 3 si riporta – a titolo di esempio – l'interpretazione della registrazione n°. 010 dalla quale si può osservare che sovrapposto al rumore di fondo medio (0,53 mm/s² per MP1 e 0,72 mm/s² per MP2) il transito del treno determina un innalzamento modesto (0,70 mm/s² per MP1 e 0,92 mm/s² per MP2). Ciò evidenzia la presenza di un effetto attenuativo del terreno considerando gli elevati valori osservati in prossimità dei binari (vedi RTdM-2020-001-00 di cui all'elenco del §. 2 della RTG [A]).

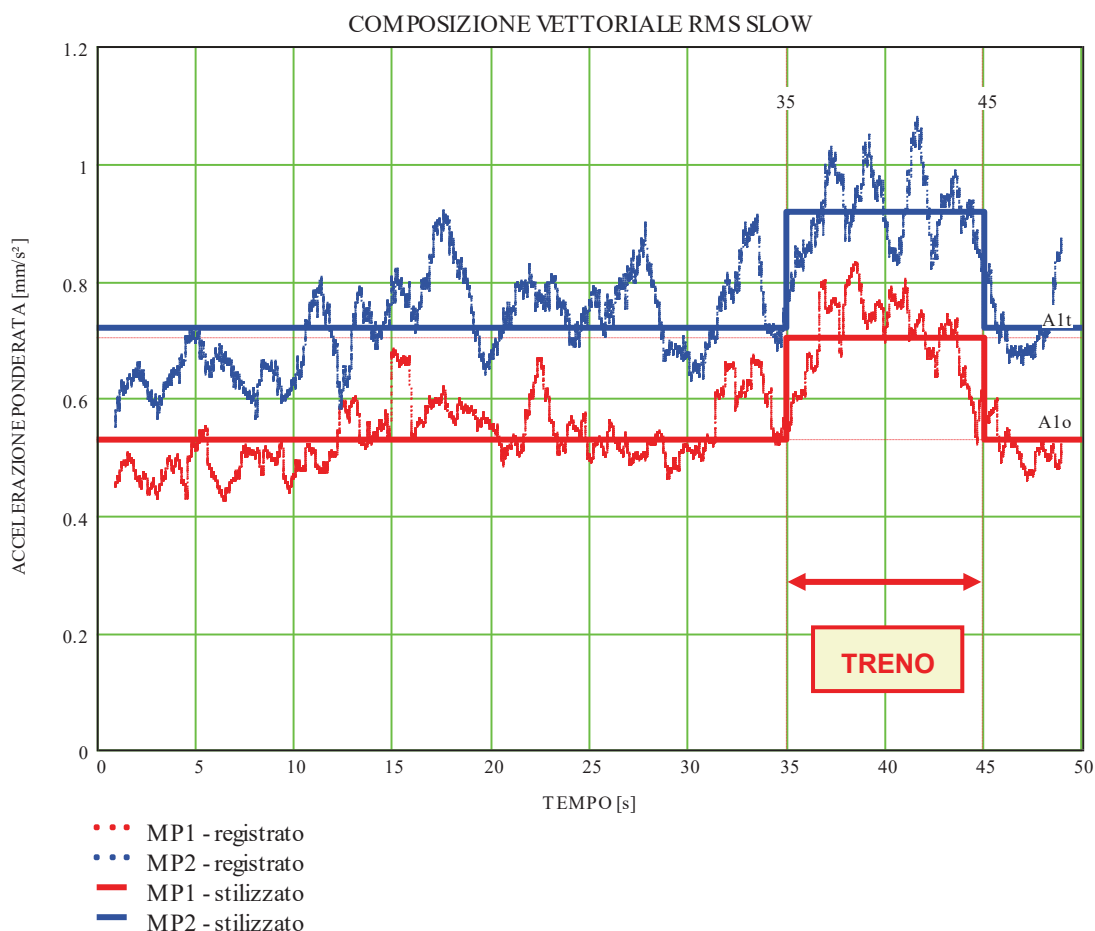



Figura 3 *Esempio di grafico nel tempo (Registrazione 010)*

	<p align="center">FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA</p>	<p align="right">RTdM-2020-003-01.doc pag. 19 Marzo 2020</p>
---	--	--

I valori numerici relativi ai grafici di figura 3 sono sintetizzati nella successiva Tabella 4. Si osserva che la sorgente relativa al treno è dello stesso ordine di grandezza e di poco inferiore del valore residuo.

Tabella 4 Livelli medi [mm/s²]

Parametro	Livelli medi [mm/s ²]	
	MP1	MP2
Livello medio residuo	0.530	0.721
Livello medio residuo & treno	0.702	0.916
Livello medio treno	0.461	0.566

6.2. Valutazioni nelle condizioni post-operam

Occorre osservare che la larghezza del fascio di binari (1,2, ...,8) ante-operam presenta una larghezza di 50 m circa (vedi Figura 4). Per contro la larghezza del fascio di binari (-4,-3,-2,-1,1,2,...8) post-operam presenterà una larghezza di 80 m circa (vedi Figura 5).

Poiché la posizione del binario 8 rimane invariata, il binario più vicino all'edificio ricettore "Politecnico di Milano Bovisa" si riduce di 30 m, passando dagli attuali 50 m a soli 20 m. L'anello di trasmissione delle vibrazioni relativo al suolo è trattato in dettaglio nell'allegato del §. 7, in quanto è l'unico anello che viene alterato passando dal layout ante-operam al layout post-operam.

Mentre nel primo caso (ante-operam) si sono misurati livelli di vibrazione molto modesti (vedi §. 6.1), nel secondo caso sono da prevedere inevitabilmente incrementi dei livelli vibrazionali. Di seguito, nella successiva Tabella 5, si fornisce la valutazione – sulla base dei dati disponibili – per il secondo caso (post-operam).

Tabella 5 Previsione di massima dei livelli di vibrazione post-operam

Descrizione	Simbolo	Formula / Riferimento	Valore
Livello di vibrazione alla sorgente	A_o	Vedi RTdM-2020-001-00 (elenco del §. 2 della RTG [A])	12,0 mm/s ²
Livello di vibrazione sull'edificio ricettore ante-operam	A_{ao}	Vedi Tabella 3	1,15 mm/s ²
Attenuazione complessiva ante-operam	AT_{ao}	$20 \times \log [A_o / A_{ao}]$	20,4 dB
Attenuazione suolo (50 m) ante-operam	$AT_{s,ao}$	Vedi grafico di Figura 14 dell'allegato di §. 7	13,7 dB
Attenuazione suolo (20 m) post-operam	$AT_{s,po}$	Vedi grafico di Figura 14 dell'allegato di §. 7	9,0 dB
Influenza della posizione di misura in prossimità della sorgente (vedi presenza di muro di sostegno contro-terra e terrapieno)	AT_o	$AT_o = AT_{ao} - AT_{s,ao}$	6,7 dB
Attenuazione complessiva post-operam	AT_{po}	$AT_{po} = AT_o + AT_{s,po}$	15,7 dB
Livello di vibrazione sull'edificio ricettore post-operam	A_{po}	$A_{po} = A_{po} \times 10^{[AT_{po} / 20]}$	2,0 mm/s ²

La Tabella 5 fornisce la previsione del valore caratteristico per l'indicatore vibrazionale previsto dalla UNI 9614:2017 (vedi §. 4.3 della RTG [A]). In modo del tutto analogo si perviene alla previsione per l'indicatore vibrazionale previsto dalla UNI 9916:2014 (vedi §. 4.3 della RTG [A]); in particolare il valore caratteristico di tale indicatore è risultato pari a 0,4 mm/s.

Nelle condizioni post-operam, i risultati ottenuti evidenziano quanto segue:

- L'edificio ricettore indagato Politecnico di Milano Bovisa è riconducibile alla classe 2 (*"Edifici residenziali e costruzioni simili"*) così come previsti dalla UNI 9916:2014 (vedi §. 4.3 della RTG [A]). Per questa tipologia di edifici il valore limite dell'indicatore vibrazionale è pari a 5 mm/s, contro valori previsti rimasti modesti inferiori a 0,4 mm/s. Pertanto sono da escludere – anche in fase post operam – danni strutturali anche di tipo minore per questa tipologia di edificio.
- L'edificio ricettore indagato Politecnico di Milano Bovisa rientra per la destinazione d'uso in *"scuole"* (con riferimento alla presenza di aule didattiche) e *"luoghi di lavoro"* (con riferimento alla presenza di uffici e laboratori) così come previsti dalla UNI 9614:2017 (vedi §. 4.1 della RTG [A]). Per queste destinazioni d'uso il valore limite dell'indicatore vibrazionale più restrittivo è pari a 5,4 mm/s², contro valori preventivati inferiori (circa 2,0 mm/s²). Va tuttavia considerato che mentre allo stato attuale non è avvertita fisiologicamente la presenza dell'infrastruttura FN, non è da escludere, che dopo l'ammmodernamento infrastrutturale, ciò si verifichi.

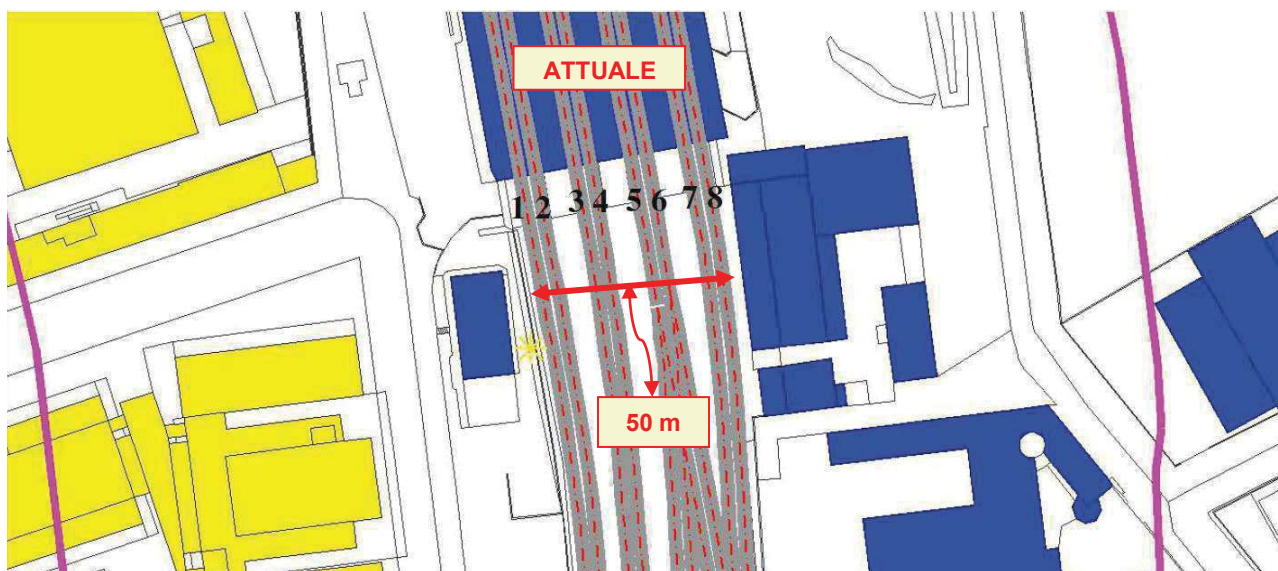


Figura 4 **Layout dei binari ante-operam**



Figura 5 **Layout dei binari post-operam**

7. ELEMENTI DI MITIGAZIONE DELLE VIBRAZIONI

Sulla base degli studi già condotti di cui Figura 6 (sistema con materassino) e Figura 7 (sistema senza materassino), utilizzando le caratteristiche del modello calibrato dell'armamento a ballast flottante, sono valutate nella presente documento (Vedi paragrafo 5) le risposte statiche e dinamiche appunto del sistema di tipo armamento a ballast, a tal riguardo si suggeriscono le opzioni di mitigazione delle vibrazioni indotte dal transito di convogli ferroviari, come meglio descritte nella successiva Tabella 6, da approfondire opportunamente nella fase di progettazione e nella fase di stesura della specifica di fornitura del materassino antivibrante caratterizzato secondo la normativa UNI 11059.

Tabella 6 Aree di intervento e mitigazioni di riferimento

Soluzioni di intervento sulla linea	Caratteristiche di mitigazione di riferimento
In relazione alla destinazione d'uso di cui alla UNI 9614:2017 par. 9	<ul style="list-style-type: none"> • Densità ~ 500 kg/m³ • Rigidezza statica 10 N/cm³ • Rigidezza dinamica..... 40 N/cm³ <p>Carichi di prova sono secondo le indicazioni della norma UNI 11059 con carico massimo sigma max 11,5 N/mq</p> <p>Il materassino elastomerico parte del sistema di mitigazione può essere realizzato in granuli di gomma e legante poliuretanico in un unico strato e protetto da un tessuto non tessuto.</p>

Si indica come elemento di valore aggiunto per l'effetto di mitigazione, la messa in opera del materassino antivibrante al di sopra di uno strato di conglomerato bituminoso (asfalto) dello spessore medio di circa 7 ÷ 8 cm, da confrontare con le disposizioni di installazione indicate dal fornitore.

In fase di fornitura devono essere fornite le prove prestazionali del prodotto prove a fatica e di condizionamento ambientale.

Valutazioni dell'effetto di mitigazione del sistema antivibrante installato dovranno essere oggetto di opportuni rilevamenti in sito post-operam.

Per valutazioni, in corso d'opera, ad avvalimento delle modalità di installazione, si prevede:

- verifica dello stato di fornitura
Sono richieste prove di caratterizzazione del materassino e piano di fabbricazione e controllo con relative prove di serie.
- verifica della posa in-operam (indagini dinamiche in sito per mezzo di eccitazione forzata/impulsiva o transito di treni).

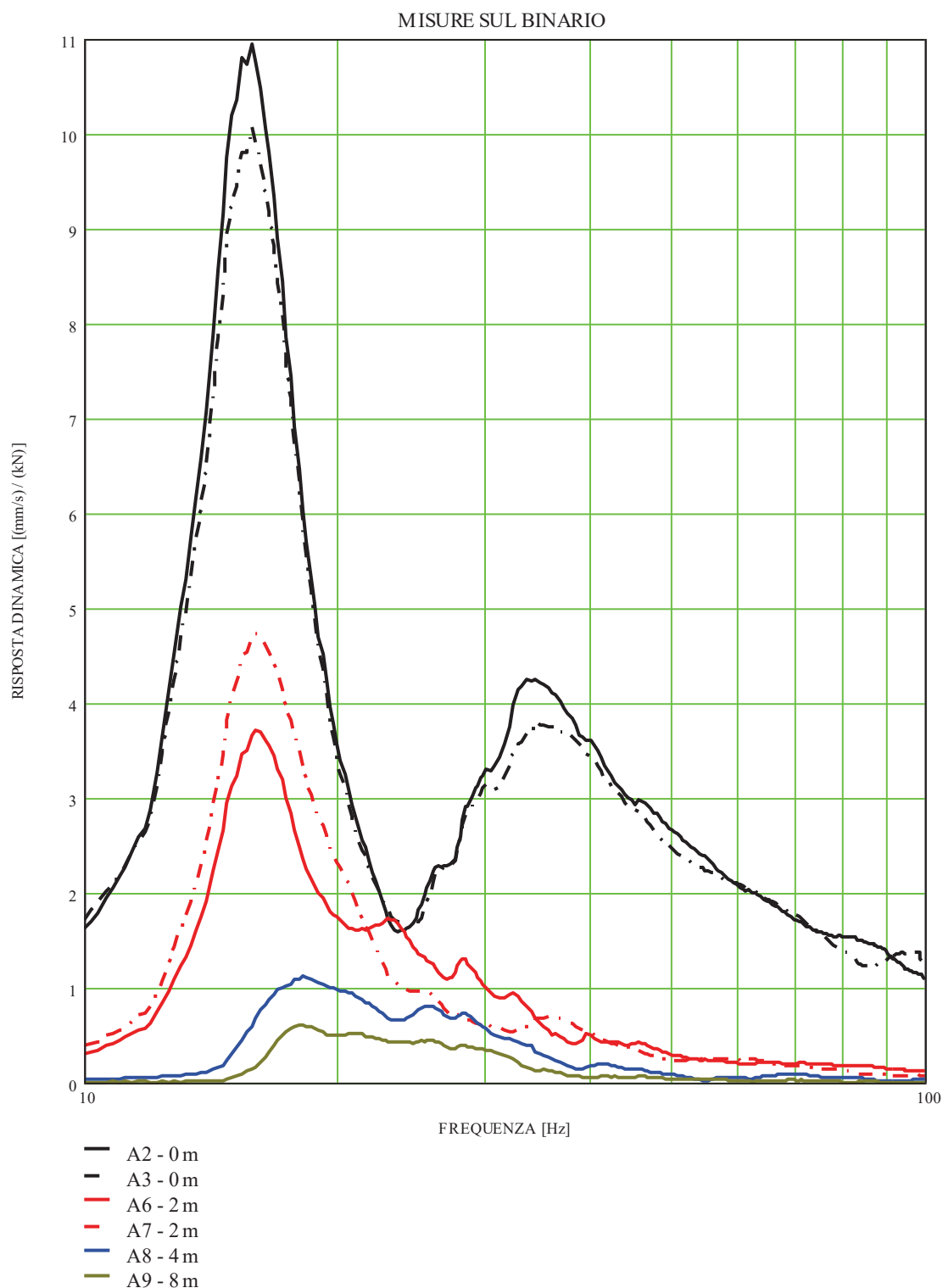


Figura 6 Esempio di caso di studio della risposta del binario per la soluzione attrezzata con materassino elastomerico

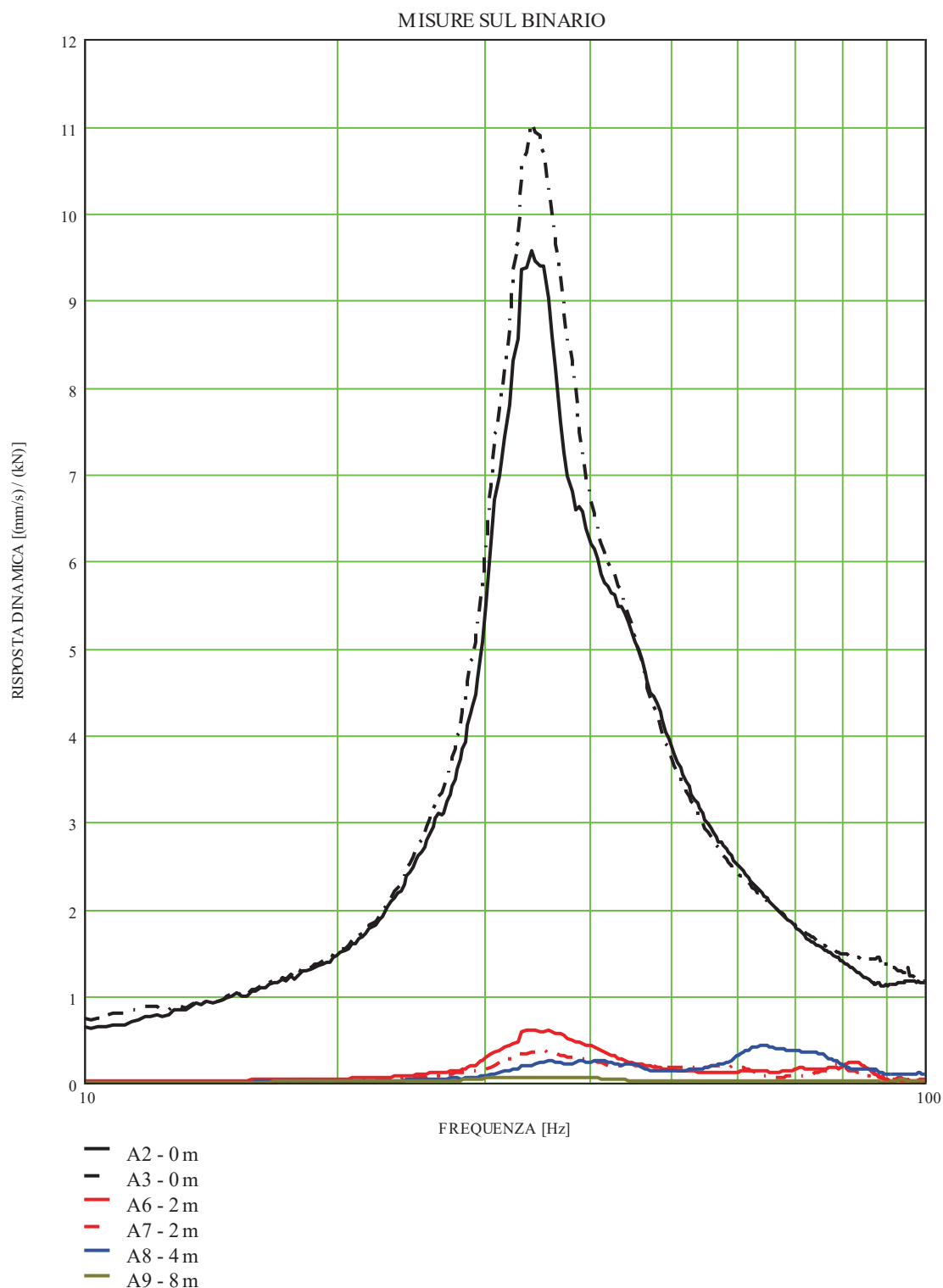


Figura 7 Esempio di caso di studio della risposta del binario per la soluzione non attrezzata con materassino elastomerico

	<p style="text-align: center;">FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA</p>	<p style="text-align: right;">RTdM-2020-003-01.doc pag. 24 Marzo 2020</p>
---	---	---

8. APPENDICE – MODALITÀ DI TRASMISSIONE DELLE VIBRAZIONI NEL SUOLO

Nella presente appendice si forniscono informazioni generali e specifiche sulle modalità di trasmissione delle vibrazioni nel suolo.

8.1. Leggi di attenuazione nel suolo

In questo paragrafo si fornisce l'inquadramento relativamente alle leggi di attenuazione delle vibrazioni nel suolo, leggi che peraltro sono più articolate rispetto alle leggi di attenuazione del rumore nell'aria nella quale si propagano solo onde di pressione.

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

Nel caso di linea superficiale su rilevato o a raso si può ragionevolmente assumere una importanza relativa maggiore per le onde di superficie, che possono essere considerate predominanti, rispetto a quelle di corpo, comunque non trascurabili. I coefficienti β riportati nella successiva Tabella 8 quantificano i fattori di importanza relativa tra i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno, in funzione della tipologia dell'infrastruttura.

Poiché lo specifico caso in esame prevede – in prima approssimazione – una sorgente irraggiante di tipo prevalentemente lineare, le onde di superficie sono attenuate solamente per effetto dello smorzamento. Le onde di corpo si attenuano comunque per effetto sia della distanza (effetto geometrico), sia dello smorzamento intrinseco del materiale suolo. L'effetto geometrico è indipendente dalla frequenza, mentre quello dissipativo cresce linearmente con la frequenza ed è inversamente proporzionale alla velocità di propagazione delle onde.

In particolare la formula utilizzata in generale ⁽²⁾ per il calcolo dell'attenuazione delle vibrazioni nella loro propagazione attraverso il terreno è la seguente:

$$L = 20 \times \log \left[10^{\frac{L_P}{20}} + 10^{\frac{L_S}{20}} + 10^{\frac{L_R}{20}} \right] \dots\dots\dots (1)$$

Dove L_P , L_S e L_R , rispettivamente i livelli trasmessi attraverso onde di compressione, di taglio e di superficie, sono dati dalle seguenti relazioni:

$$L_P \cong L_o + 20 \times \log (\beta_P) - k_P \times \log \left(\frac{R}{R_o} \right) - \alpha_P \times (R - R_o) \times \frac{f}{V_P} \dots\dots\dots (2.a)$$

$$L_S \cong L_o + 20 \times \log (\beta_S) - k_S \times \log \left(\frac{R}{R_o} \right) - \alpha_S \times (R - R_o) \times \frac{f}{V_S} \dots\dots\dots (2.b)$$

$$L_R \cong L_o + 20 \times \log (\beta_R) - k_R \times \log \left(\frac{R}{R_o} \right) - \alpha_R \times (R - R_o) \times \frac{f}{V_R} \dots\dots\dots (2.c)$$

⁽²⁾ Con riferimento a pagg. 8-29 ÷ 8-33 di: G. P. Wilson [A].

Dove:

L e L_0 livelli di vibrazione in decibel, rispettivamente attenuato e alla sorgente
 R e R_0 distanze plano–altimetriche, riferite all'asse della linea, rispettivamente all'edificio ricettore e alla sorgente (posizione di misura dello spettro di input)
 P, S, R indici riferiti rispettivamente alle onde di compressione, di taglio e di superficie (Rayleigh e Love)
 $\beta_P, \beta_S, \beta_R$ fattori di importanza relativa tra i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno
 k_P, k_S, k_R coefficienti di attenuazione geometrica per i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno
 $\alpha_P, \alpha_S, \alpha_R$ fattori di perdita per dissipazione per i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno [dB]
 V_P, V_S, V_R velocità di propagazione delle onde nel terreno per i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno [m/s]
 f frequenza [Hz]

Per i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno (onde di compressione, di taglio e di superficie), ed in relazione al tipo di sorgente sono attesi valori del coefficiente di attenuazione geometrica k organizzati nella Tabella 7.

Tabella 7 **Coefficienti di attenuazione geometrica per i differenti meccanismi di propagazione**

Tipo di sorgente	Tipo di onde	
	di corpo	di superficie
Puntuale	$k = 20$	$k = 10$
Lineare	$k = 10$	$k = 0$

In particolare per la valutazione delle velocità di propagazione delle onde nel terreno (V_P, V_S e V_R) si può far riferimenti alle seguenti relazioni ⁽³⁾:

- Velocità di propagazione delle onde di compressione nel terreno:

$$V_P = \sqrt{\frac{E_d \times (1 - \nu_d)}{\rho \times (1 + \nu_d) \times (1 - 2 \times \nu_d)}} \quad \text{..... (3.a)}$$

- Velocità di propagazione delle onde di taglio nel terreno:

$$V_S = \sqrt{\frac{G_d}{\rho}} \quad \text{..... (3.b)}$$

- Velocità di propagazione delle onde di superficie nel terreno:

$$V_R \cong 0,90 \times \sqrt{\frac{G_d}{\rho}} \quad \text{..... (3.c)}$$

Ove:

E_d Modulo elastico normale dinamico in N/m².
 G_d Modulo elastico tangenziale dinamico in N/m².
 ν_d Coefficiente di contrazione o di Poisson dinamico.
 ρ Massa di volume del terreno (densità) in kg/m³.

⁽³⁾ Relazioni classiche fornite da qualsiasi testo di dinamica dei suoli. Vedi ad esempio Appendix E: «Wave Propagation» del documento CEB N. 209 [B].

Salvo casi particolari, l'infrastruttura ferroviaria può di norma essere considerata una sorgente lineare, per la quale i coefficienti di attenuazione geometrica sono pertanto pari a:

$k = 10$ per le onde di corpo

$k = 0$ per le onde di superficie

Per quanto riguarda i fattori di importanza relativa tra i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno, indicativamente ed orientativamente possono essere messi in conto i valori riportati nella successiva Tabella 8.

Tabella 8 Fattori di importanza relativa tra i differenti meccanismi di propagazione

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

8.2. Valutazioni della natura e delle caratteristiche del terreno

Per la valutazione della natura e caratteristiche del terreno, è necessario effettuare un attento esame delle sezioni stratigrafiche disponibili e delle relazioni geotecniche del suolo interessato dall'infrastruttura.

Dall'esame di tali documenti è possibile condurre una prima valutazione dei parametri meccanici geodinamici, riferiti alle differenti zone geotecniche relative alle differenti tratte e sotto-tratte con cui può essere suddivisa la tratta metropolitana in studio.

Tali parametri sono i seguenti:

- Modulo elastico normale (Young)..... E [kPa]
- Modulo elastico di taglio (Young) G [kPa]
- Coefficiente di Poisson ν [—]
- Massa di volume del terreno (densità)..... ρ [ton/m³]
- Resistenza alla punta da prove penetrometriche statiche CPT
ovvero CPTU..... q_c [kPa]
- Descrizione tipologia del terreno per i diversi strati
- Livello di falda non in pressione
- Livello di falda in pressione



L'esame delle caratteristiche dei terreni è stata condotta con riferimento alla definizione di parametri rappresentativi del comportamento meccanico dei terreni in presenza di sollecitazioni di taglio e di compressione di natura dinamica in fase di servizio o nel campo delle piccole e medie deformazioni.

Il comportamento del terreno in campo dinamico, è governato dal modulo di taglio G_d e dal coefficiente di Poisson ν_d (oppure dal modulo normale E_d e dal coefficiente di Poisson ν_d); questo in quanto tra questi tre parametri esiste la nota relazione:

$$G_d = \frac{E_d}{2 \times (1 + \nu_d)} \dots\dots\dots (4)$$

I moduli elastici dipendono dallo stato di addensamento del terreno, dal livello tensionale e dal livello di deformazione; in realtà la variazione del livello di deformazione è praticamente ininfluenza fintantoché lo stato deformativo è limitato al campo elastico, mentre, superato tale campo, il modulo dinamico decresce in modo più o meno repentino in relazione al tipo di terreno.

Per valutare il modulo di taglio dinamico G_d si fa riferimento alla relazione seguente:

$$G_d = \rho \times V_s^2 \dots\dots\dots (5)$$

Per valutare il coefficiente di Poisson dinamico ν_d si fa riferimento alla relazione seguente:

$$\nu_d = \frac{\left[\left(\frac{V_P}{V_S} \right)^2 - 2 \right]}{2 \times \left[\left(\frac{V_P}{V_S} \right)^2 - 1 \right]} \dots\dots\dots (6)$$

Essendo:

- ρ Massa di volume del terreno (densità) in kg/m³
 V_s Velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s
 V_P Velocità di propagazione delle onde di compressione in m/s



Le indagini geo-dinamiche (o geo-sismiche o geo-fisiche) forniscono direttamente i parametri geodinamici del suolo, ed in particolare la velocità di propagazione delle onde vibrazionali nel terreno.

In particolare si citano le seguenti tecniche geofisiche (o prove dinamiche-vibrazionali nel suolo), spesso tra loro complementari:

- a) Cross-Hole (CH)
- b) Down-Hole (DH)
- c) Sismica a rifrazione con onde P (SR-P)
- d) Multi-Channel Analysis Surface Waves (MASW)
- e) Refraction Microtremor (ReMi)
- f) Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo Nakamura

Mentre il primo gruppo di indagini citate [a) ÷ b)] richiede l'esecuzione di fori di sondaggio (due a poca distanza per il CH ed uno per il DH), il secondo gruppo di indagini citate [d) ÷ f)] consiste nel misurare le vibrazioni sia generate artificialmente, sia già presenti e relative al rumore ambientale, mediante una rete di sensori collocati secondo opportune disposizioni sulla superficie del terreno.

8.3. Caratteristiche geo-fisiche / geo-dinamiche del terreno alluvionale di Milano

Le caratteristiche geo-fisiche / geo-dinamiche del terreno, interessato dal tracciato della Linea FN in questione, possono essere formulate sulla base di risultati disponibili di indagini geo-fisiche condotte in 4 sezioni di misura (vedi mappa di Figura 8), riassunti nei profili riportati in Figura 9, che evidenziano una situazione abbastanza omogenea del deposito alluvionale sciolto su cui è stata costruita la Città di Milano.

In sostanza il suolo della Città di Milano è caratterizzabile attraverso un unico profilo geo-dinamico / geo-fisico di riferimento esposto nella successiva Tabella 9.

Tabella 9 Parametri geo-dinamici di riferimento assunti nelle simulazioni

PARAMETRI	Simbolo	Unità di Misura	Profilo geo-dinamico di riferimento		
			Raso e Rilevato	Trincea	Galleria profonda
Velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P)	V_P	[m/s]	$V_P(z) = (255 \text{ m/s}) \times z^{0.441}$		
Velocità di propagazione delle onde di taglio (onde S)	V_S	[m/s]	$V_S(z) = (130 \text{ m/s}) \times z^{0.429}$		
Velocità di propagazione delle onde di superficie (onde R)	V_R	[m/s]	$V_R(z) = (117 \text{ m/s}) \times z^{0.429}$		
Fattori di importanza relativa tra i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno	β_P	—	0,20	0,25	0,40
	β_S	—	0,20	0,25	0,40
	β_R	—	0,60	0,50	0,20
Coefficienti di attenuazione geometrica per i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno	k_P	—	10		
	k_S	—	10		
	k_R	—	0		
Fattori di perdita per dissipazione per i differenti meccanismi di propagazione delle onde nel terreno	α_P	[dB]	0,30		
	α_S	[dB]	0,30		
	α_R	[dB]	0,30		
Profondità nel suolo	z	[m]	Variabile (0 ÷ 30 m)		



Figura 8 Mappa delle indagini geofisiche disponibili

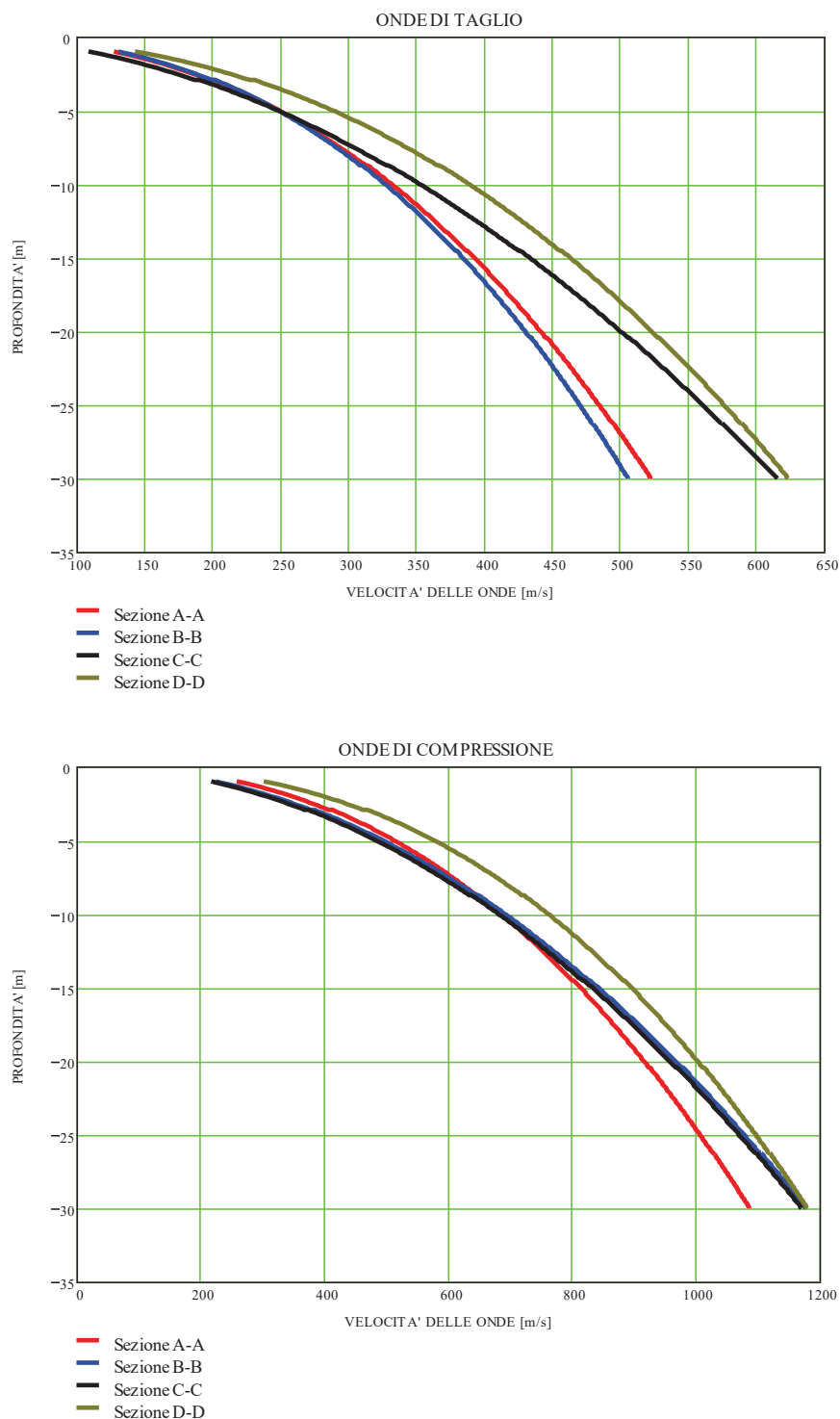


Figura 9 *Profili velocità delle onde sismiche nel suolo con la profondità*

8.4. Caratteristiche dei convogli (materiale rotabile di Treni Nord)

In base ai data sheet del materiale rotabile di Treni Nord, resi disponibili per il progetto, è stata elaborata la successiva Tabella 10, che fa riferimento agli elettrotreni illustrati in Figura 10.

Sono state individuate le seguenti tipologie di convoglio:

- Tipologia A..... Serie di pezzi (motrici o rimorchiati) caratterizzati da due carrelli per ogni pezzo; classica sequenza di pezzi autonomi separabili; il numero dei carrelli è pari al doppio dei pezzi (2 carrelli per ogni pezzo) (vedi schematico superiore di Figura 11)
- Tipologia B..... Serie di casse collegate tra loro con uno snodo. I carrelli sono disposti in corrispondenza di ciascun snodo ed in corrispondenza dell'elemento di testa e di coda; il numero dei carrelli è pari al numero di pezzi aumentato di uno (vedi schematico inferiore di Figura 11)



TSR



TAF



ETR 526



ETR 425

Figura 10 Materiale Rotabile – Elettrotreni

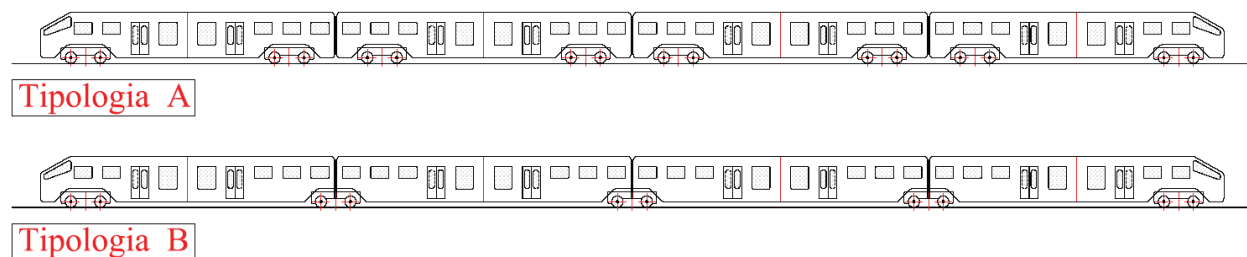


Figura 11 Tipologici Materiale Rotabile – Elettrotreni

	<p align="center">FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA</p>	<p align="right">RTdM-2020-003-01.doc pag. 32 Marzo 2020</p>
---	--	---

Tabella 10 Materiale Rotabile di Treni Nord

Modello	UdM	TSR	TAF	ETR 526	ETR 425
Tipologia del convoglio	—	Tipologia A		Tipologia B	
Composizione	—	MTM MTTM MTTTM MTTTTM	MTTM	MTTTTM	MTTTM
Elementi	N°.	3, 4, 5, 6	4	6	5
Elementi motore	N°.	2	2	2	2
Elementi trainati	N°.	1, 2, 3, 4	2	4	3
Carrelli	N°.	6, 8, 10, 12	8	7	6
Carrelli motore	N°.	4	4	2	2
Carrelli trainati	N°.	2, 4, 6, 8	4	5	3
Snodi	N°.	2, 3, 4, 5	3	5	4
Assi	N°.	12, 16, 20, 24	16	14	12
Interasse ruote per carrelli motore	[mm]	2 550 2 650	2 700	2 400	2 400
Interasse ruote per carrelli trainati	[mm]	2 550 2 650	2 550	2 700	2 700
Lunghezza complessiva	[mm]	78 925 104 950 130 975 157 000	57 190	95 480 (96 850)	80 830 (82 200)
Lunghezza motrici	[mm]	26 450	25 895	18 840 (19 125)	18 840 (19 125)
Lunghezza trainati	[mm]	26 025	26 090	14 650	14 650
Passo dei carrelli relativi a ciascun pezzo	[mm]	18 875	18 590	14 650	14 650
Sequenza passo dei carrelli	[mm]	18 875 7 405 18 875 7 405 18 875 7 405 18 875 7 405 18 875 7 405 18 875	18 590 7 500 18 590 7 500 18 590 7 500 18 590 7 500 18 590 7 500 18 590	14 650 14 650 14 650 14 650 14 650 14 650 14 650 14 650 14 650 14 650 14 650	14 650 14 650 14 650 14 650 14 650 14 650 14 650 14 650 14 650 14 650 14 650
Diametro ruote	[mm]	920	1 100	850	850
Velocità massima	[km/h]	140	100	160	160
Peso totale a Tara	[ton]	60 (M) 56 (T)	209	218	188
Peso totale a Pieno carico	[ton]	66 (M) 64 (T)	272	254	218
Capacità di trasporto (passeggeri)	N°.	91 (M) 113 (T)	874	514	429
Carico per asse per carrello M	[kN/asse]	162.8	166.8	151.4	153.5
Carico per asse per carrello M+T	[kN/asse]	156.7	166.8	140.2	142.1
Carico per asse per carrelli T+T	[kN/asse]	156.7	166.8	191.1	193.8
Massa non sospesa	[Kg/asse]	2 358	—	—	—
M..... Motrice – Pezzo o elemento Motore e/o di testa e di coda					
T..... Trainato – Pezzo Trainato e/o intermedio					

Ai fini delle successive analisi si possono individuare le seguenti situazioni:

- | | <u>Tipologia A</u> | <u>Tipologia B</u> |
|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| • Numero di carrelli..... | 6 ÷ 12 | 7 ÷ 5 |
| • Distanza tra i carrelli | 13.140 ÷ 13.045 mm | 14.650 mm |

Il treno può essere ricondotto in prima analisi – come precedentemente riportato – ad una sorgente lineare; tuttavia congelando idealmente il tempo di transito, può anche essere ricondotto ad una sequenza di sorgenti puntiformi pari al numero dei carrelli del convoglio (carrelli in movimento da destra a sinistra o viceversa).

Con riferimento alla successiva Figura 12 si è assunto come schema di emissione di un convoglio di Treni Nord quello relativo a 9 carrelli posti ad una distanza di 13 m, con un convoglio di lunghezza pari a circa 120 m.

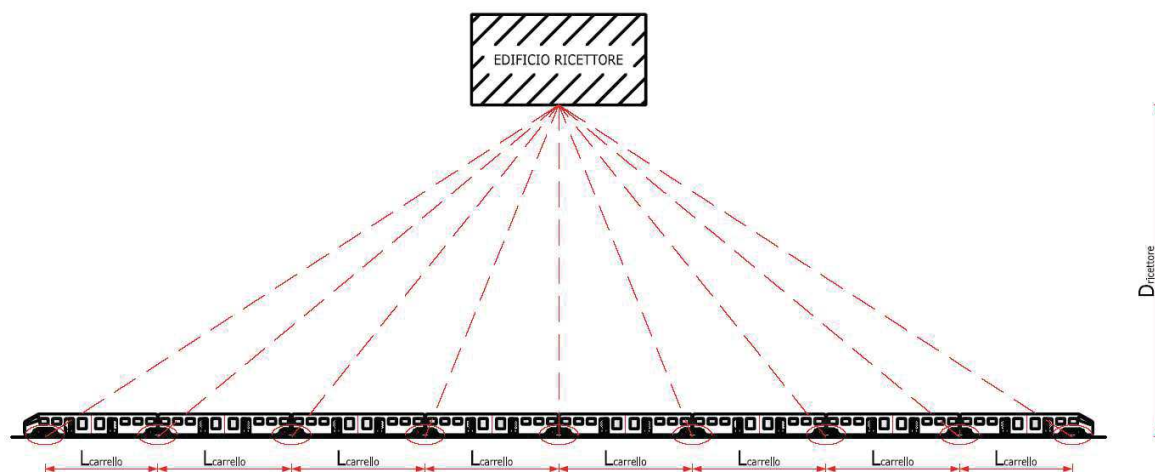


Figura 12 Schema di sequenza di sorgenti di emissione vibrazionale

8.5. Valutazione delle curve di attenuazione

Nel caso specifico siamo in presenza di due differenti distanze tra l'infrastruttura e l'edificio ricettore:

- Layout ante-operam..... 50 m
- Layout post-operam..... 20 m

Mentre nella successiva Figura 13 si riporta il grafico spettrale delle attenuazione facendo riferimento al modello di sorgente lineare, nella successiva Figura 14 si riporta il grafico spettrale delle attenuazione facendo riferimento al modello di sequenza di sorgenti puntiformi (vedi schema di Figura 12).

Sulla base delle elevate attenuazioni riscontrate nel layout ante-operam tra le posizioni di misura installate sull'edificio ricettore Politecnico di Milano Bovica e le posizioni di misura installate sull'edificio ricettore Sotto Stazione Elettrica (SSE) di cui alla RTdM-2020-001-00 (vedi l'elenco del §. 2 della RTG [A]), è apparsa e' più realistica la curva spettrale di Figura 14.

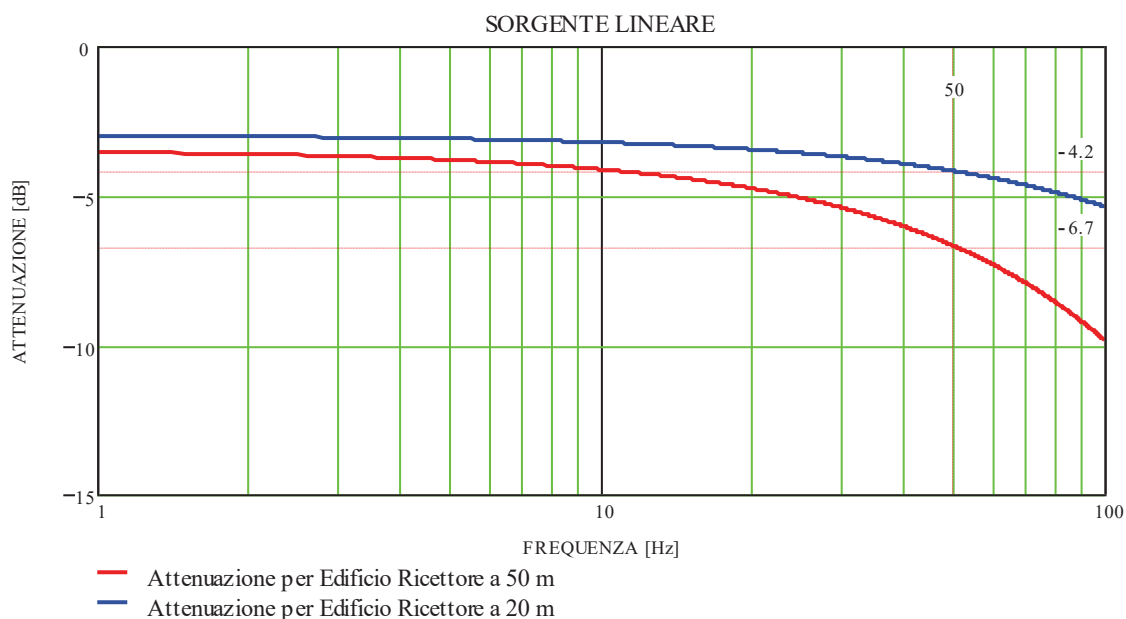


Figura 13 Attenuazioni secondo il modello di sorgente lineare

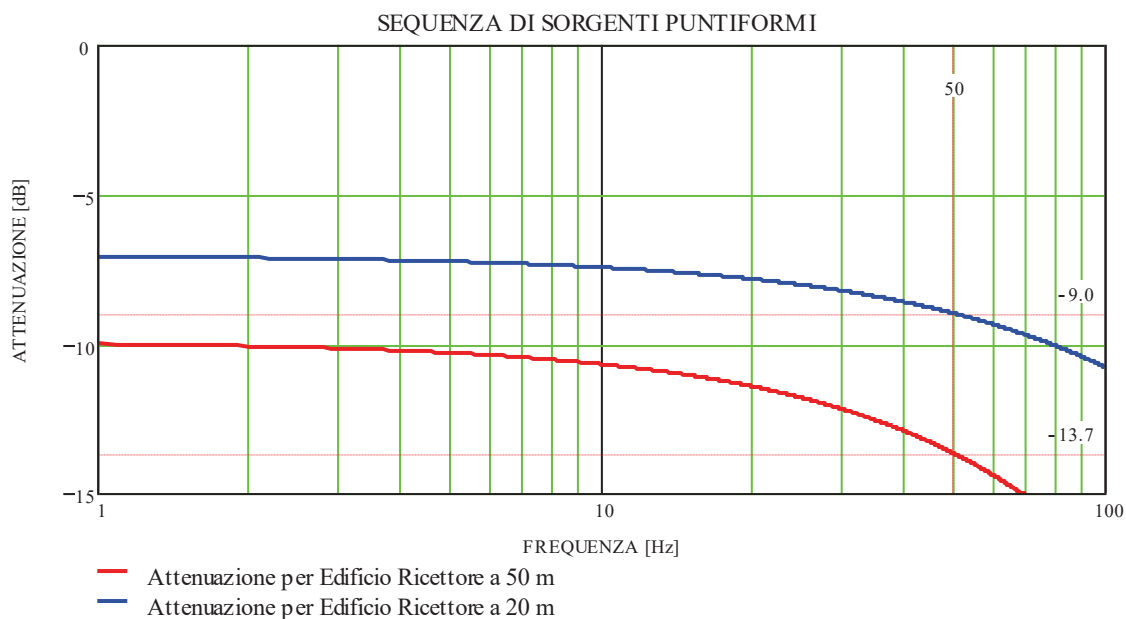


Figura 14 Attenuazioni secondo il modello di sequenza di sorgenti puntiformi

	<p align="center">FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA</p>	<p align="right">RTdM-2020-003-01.doc pag. 35 Marzo 2020</p>
---	--	--

8.6. Bibliografia sull'argomento

Nella successiva Tabella 11 si fornisce elenco bibliografico sull'argomento.

Tabella 11 Elenco bibliografico sull'argomento

Rif.	Autori	Anno	Titolo
[A]	H.J. Saurenman J.T. Nelson G.P. Wilson	1982	<i>Handbook of urban rail noise and vibration control</i> 1982, U.S. Department of Transportation, Washington D.C.
[B]	CEB	1991	<i>Bulletin d'Information N° 209</i> <i>Vibration problems in structures</i> <i>Practical Guidelines</i> CEB – Comité Euro-International du Béton August 1991
[C]	H. Miller – Miller & Hanson Inc.	1995	<i>Transit Noise and Vibration. Impact assessment</i> 1995, U.S. Department of Transportation, Washington D.C.
[D]	H. Miller - Miller & Hanson Inc.	1998	<i>High Speed Transportation. Noise and Vibration Impact assessment</i> 1998, U.S. Department of Transportation, Washington D.C.
[E]	Savoir Course	2002	<i>Noise and Vibration from Rail Transport System</i> 8 th International Savoir Course (2002) 2002, Freising / Munich, Germany
[F]	P. Pezzoli	2004	Le vibrazioni indotte dal traffico su rotaia e tecniche di previsione Estratto, Ingegneria Ferroviaria n°. IF – VI – 2004, pp 521 ÷ 545, Roma, giugno 2004
[G]	M. Acquati GC. Bono C. Lobefalo P. Pezzoli	2013	<i>Metodologia per la stima dell'impatto vibrazionale di una linea tranviaria</i> V° Convegno Nazionale Sistema Tram; Roma; 31 gennaio ÷ 01 febbraio 2013
[H]	M. Acquati GC. Bono C. Lobefalo P. Pezzoli	2015	<i>Analisi dei rischi a supporto della scelta tipologica ottimale di armamento</i> VI° Convegno Nazionale Sistema Tram; Roma; 19÷20 marzo 2015
[I]	COWI	2015	<i>New Vibrations Model. Technical Report</i> January 2015, Banedanmark
[J]	M. Acquati	2017	<i>Infrastrutture su rotaia in città. Impatto da rumore e vibrazioni</i> Academy MM & Ordine degli Ingegneri di Milano; Milano, 23 maggio 2017
[K]	INDAPRO	2008	<i>Manuale software applicativo «rail-vibration</i> Sviluppato da Indapro in ambiente SW MathCad®, rev. 012, 2008
[L]	L. Cremer M. Heckl	1973	<i>Structure – borne sound</i> 1973 Springer - Verlag Berlin Heidelberg – New York



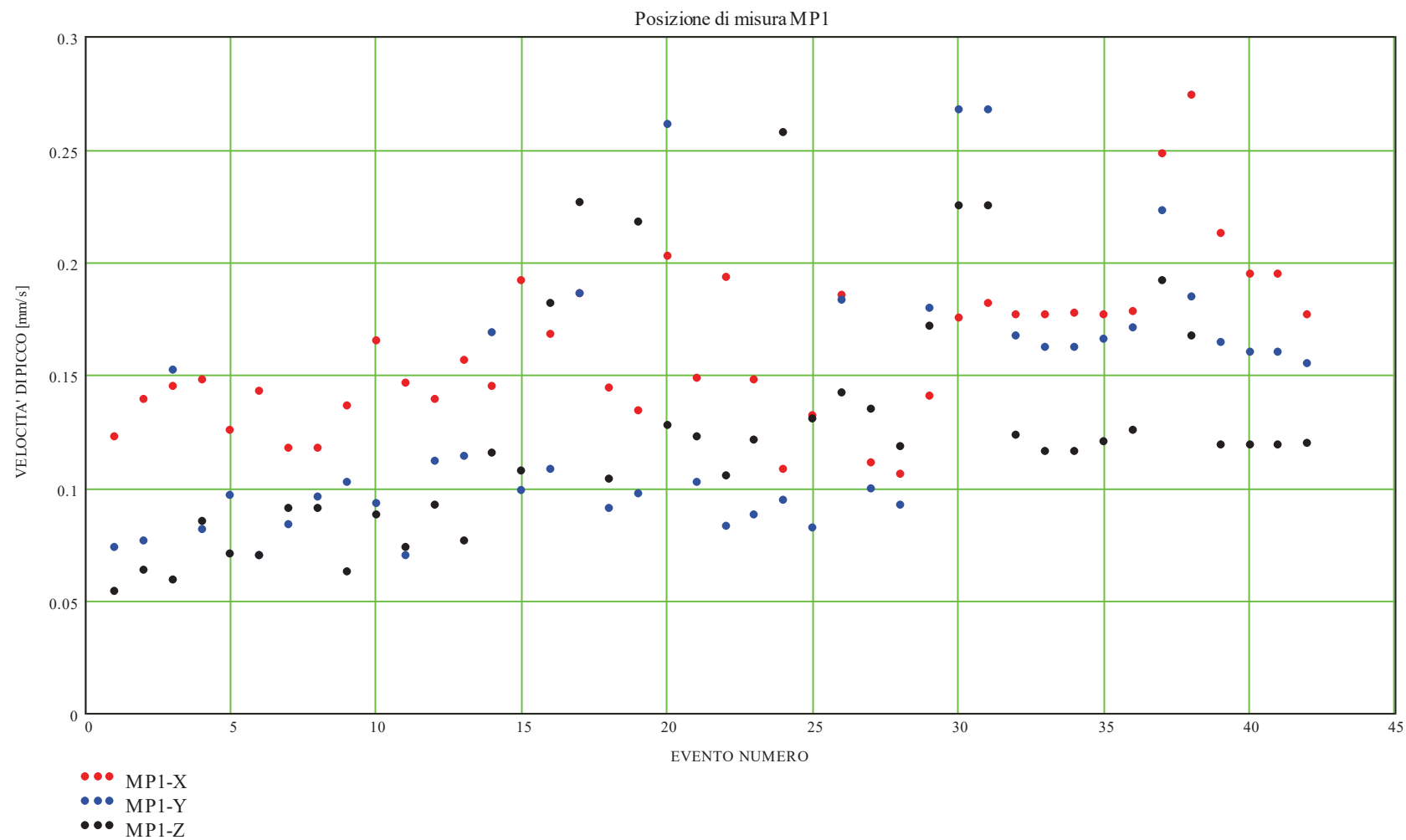
RAMO MILANO e RAMO ISEO

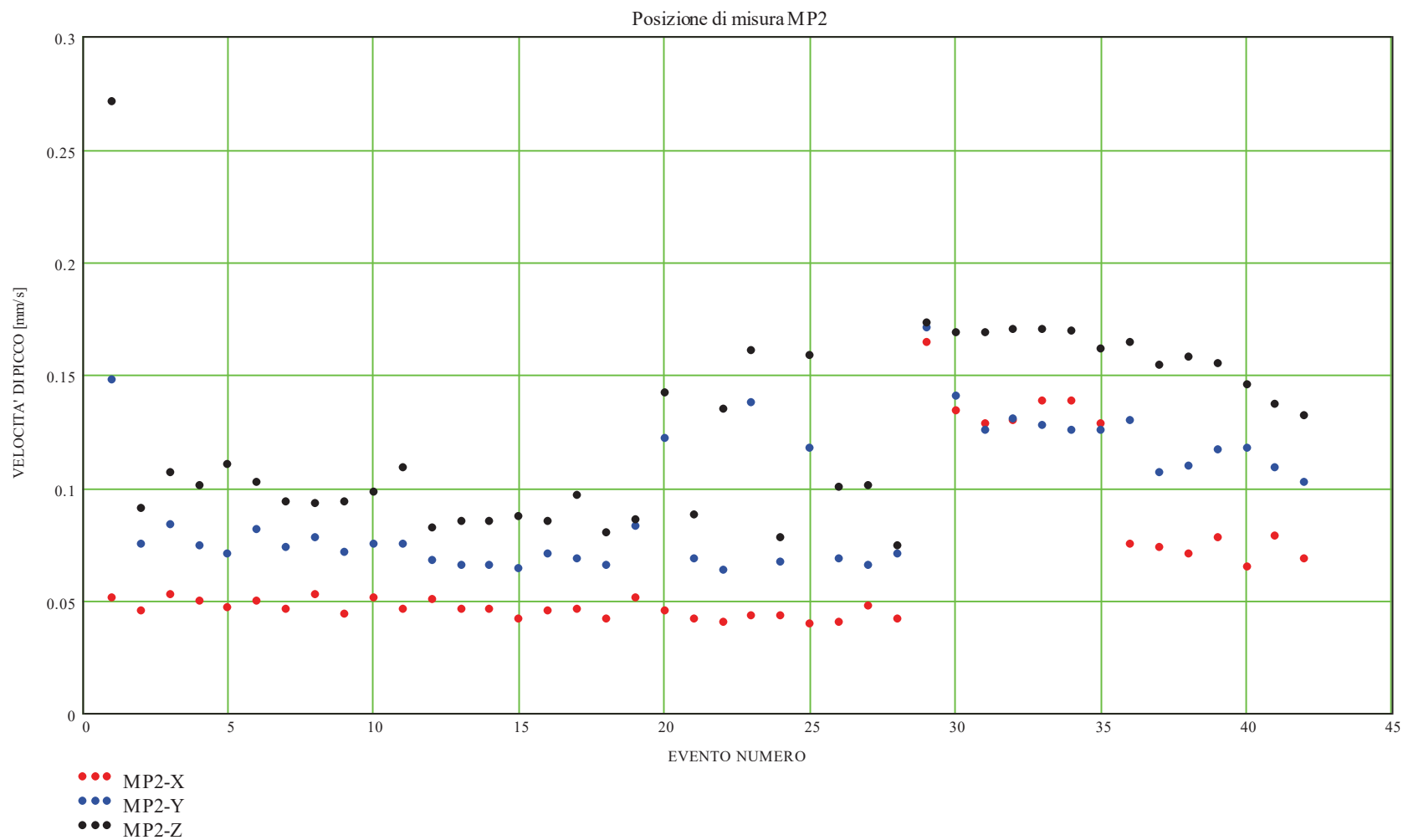
**Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale
di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti**


**SERVIZIO Q03
AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE
DEL NODO BOVISA
RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI
SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA**

ALLEGATO RISULTATI DEL MONITORAGGIO

<i>Documento</i> RTdM-2020-003-01-Allegato.doc	<i>Progetto</i> NORD-ING-2019-01	<i>Pagine report</i> 23
<i>Revisione</i> 00 01	<i>Data revisione</i> Febbraio 2020 Marzo 2020	<i>Allegati</i> —



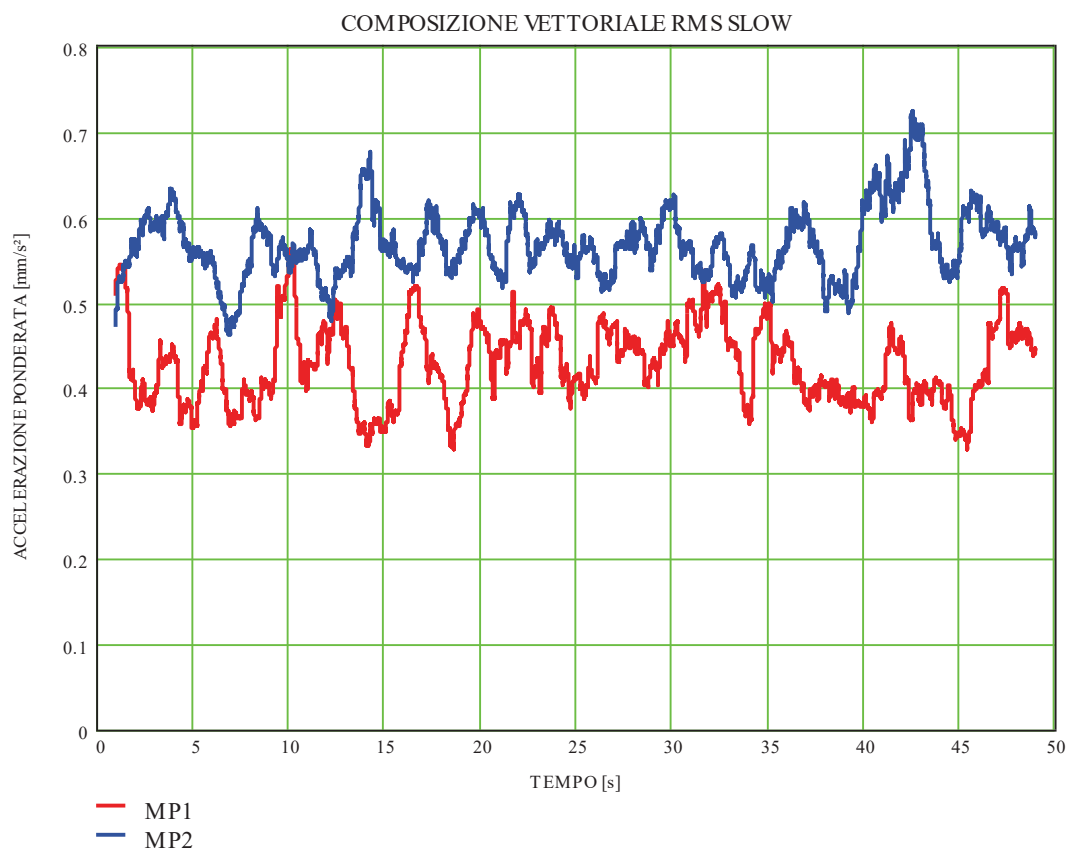


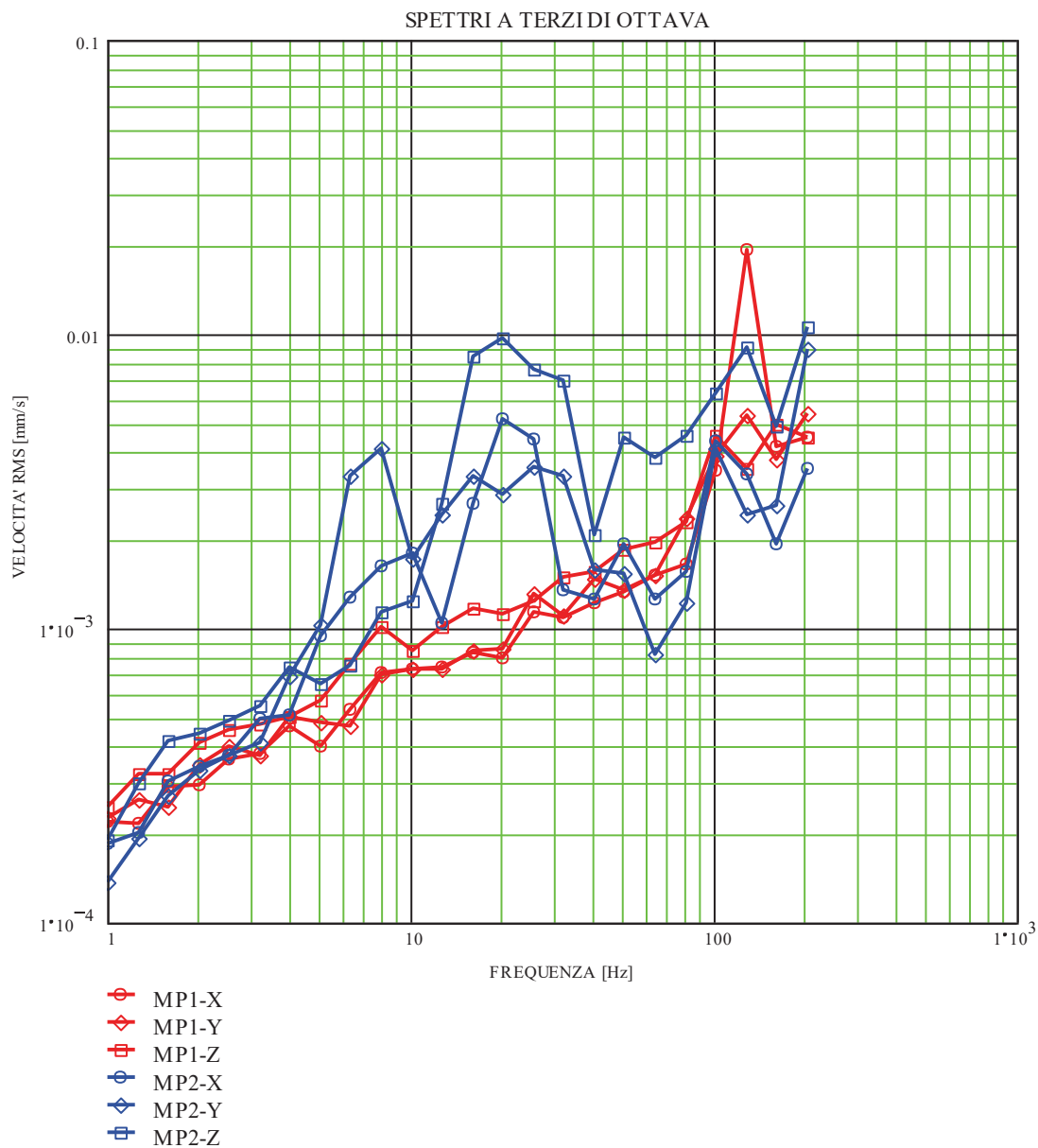
	FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA	RTdM-2020-003-01-Allegato.doc Marzo 2020
---	--	--

EVENTO 001 — 16.12.2019 — 12:29

Posizioni di Misura	Velocità [mm/s]		Fattore di Cresta PEAK/RMS [—]	Indicatore vibrazionale UNI 9614:1970 [mm/s ²]		Indicatore vibrazionale UNI 9614:2017 [mm/s ²]	Rapporto indicatori [—]
	PEAK (°)	RMS		Comp.	max		
MP1-X	0.11	0.02	5.43	0.75	0.75	0.56	0.75
MP1-Y	0.07	0.01	6.83	0.37			
MP1-Z	0.06	0.01	5.50	0.37			
MP2-X	0.05	0.01	4.30	0.40	0.88	0.72	0.82
MP2-Y	0.12	0.01	8.89	0.51			
MP2-Z	0.27	0.02	10.96	0.88			

(°) Indicatore Vibrazionale per la UNI 9916:2014



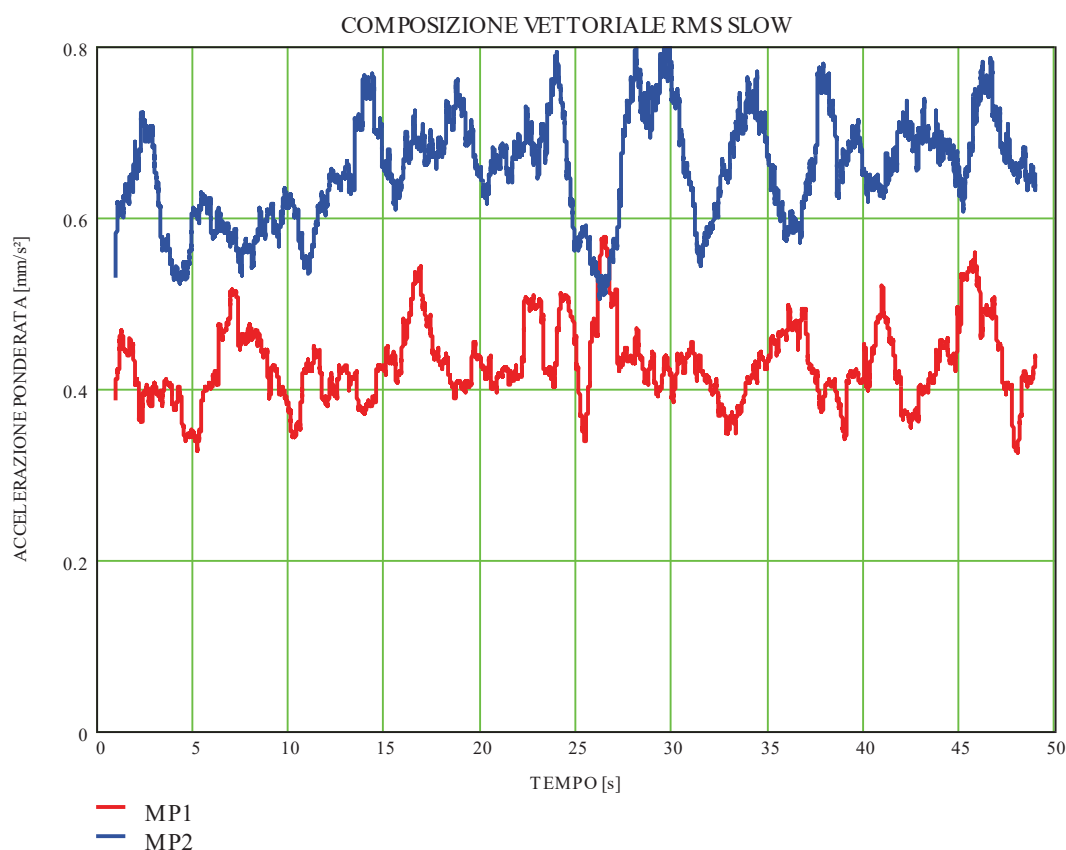


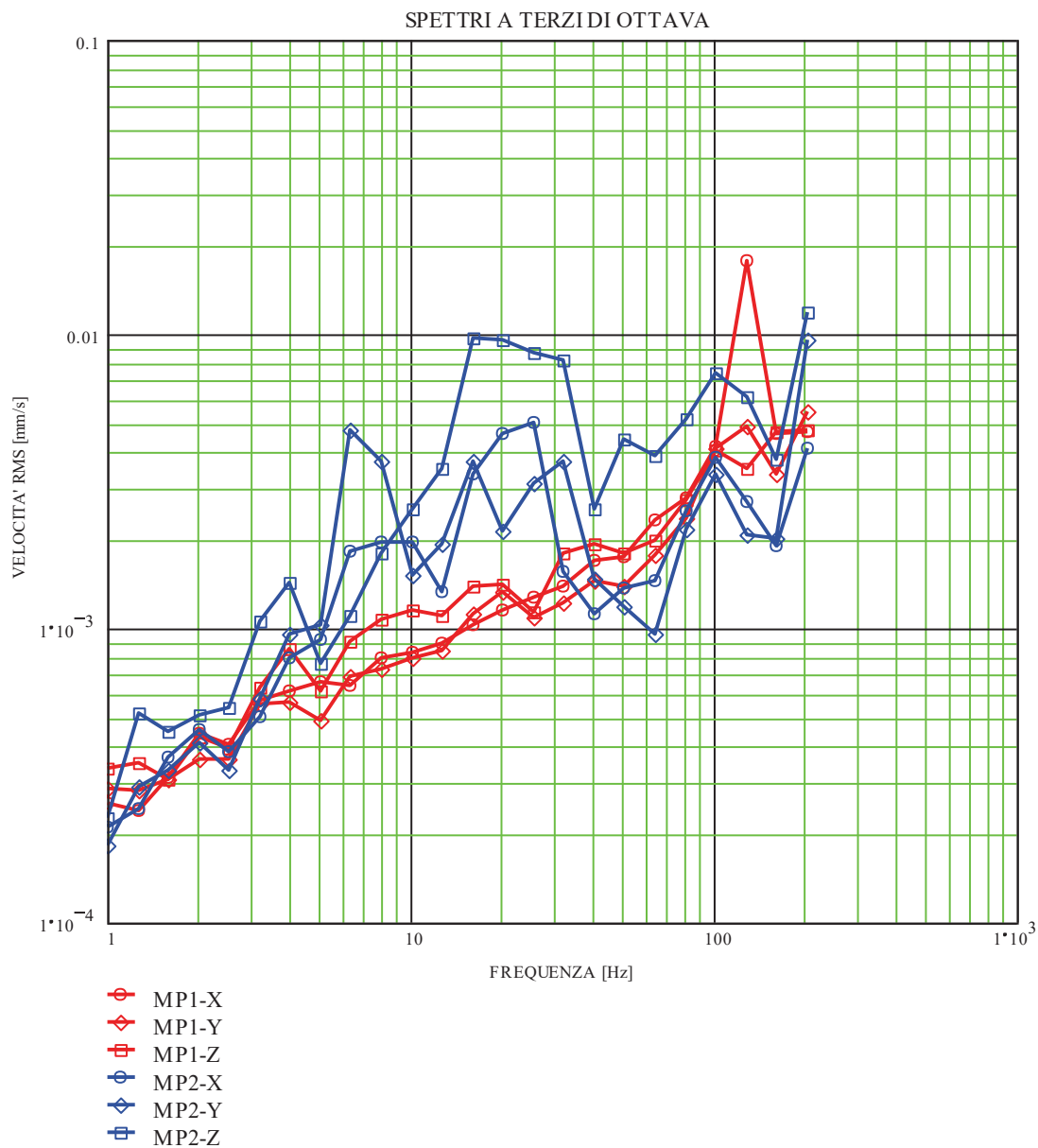
	FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA	RTdM-2020-003-01-Allegato.doc Marzo 2020
---	--	--

EVENTO 002 — 16.12.2019 — 12:30

Posizioni di Misura	Velocità [mm/s]		Fattore di Cresta PEAK/RMS [—]	Indicatore vibrazionale UNI 9614:1970 [mm/s ²]		Indicatore vibrazionale UNI 9614:2017 [mm/s ²]	Rapporto indicatori [—]
	PEAK (°)	RMS		Comp.	max		
MP1-X	0.15	0.02	7.37	0.72	0.72	0.58	0.80
MP1-Y	0.07	0.01	7.13	0.37			
MP1-Z	0.06	0.01	6.24	0.37			
MP2-X	0.04	0.01	3.68	0.41	0.94	0.80	0.85
MP2-Y	0.05	0.01	3.63	0.52			
MP2-Z	0.09	0.03	3.46	0.94			

(°) Indicatore Vibrazionale per la UNI 9916:2014



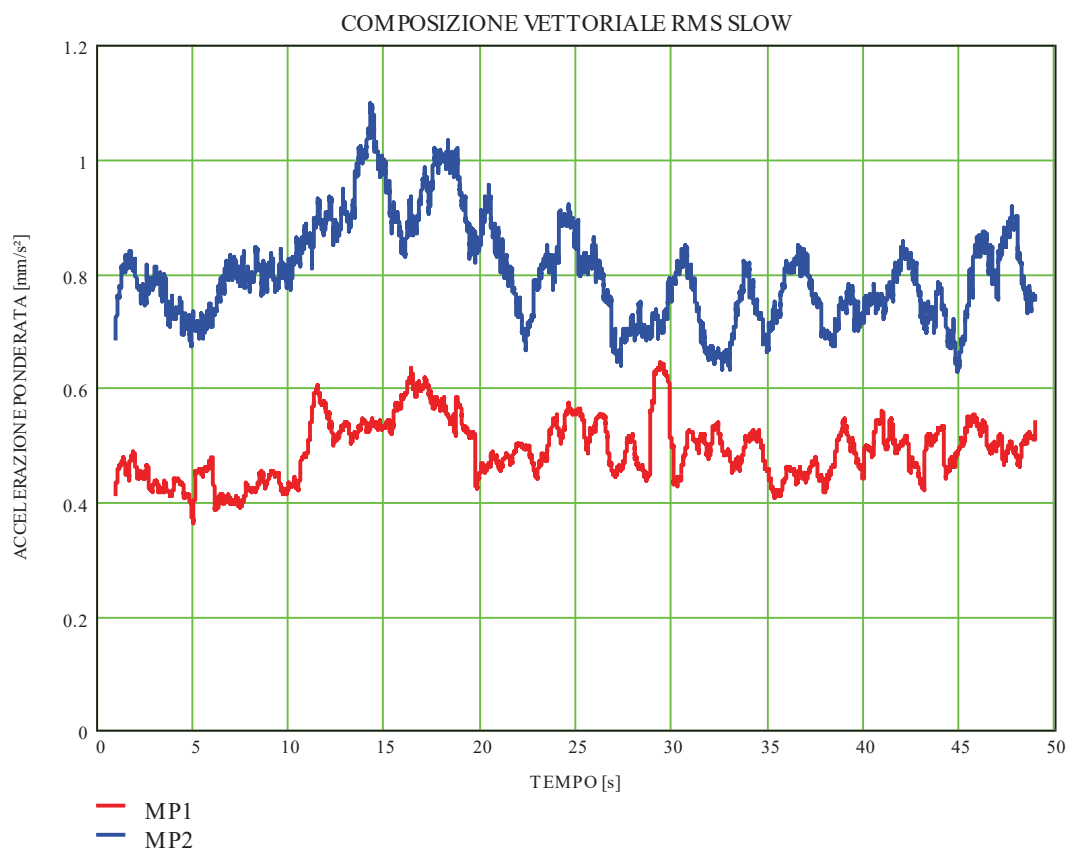


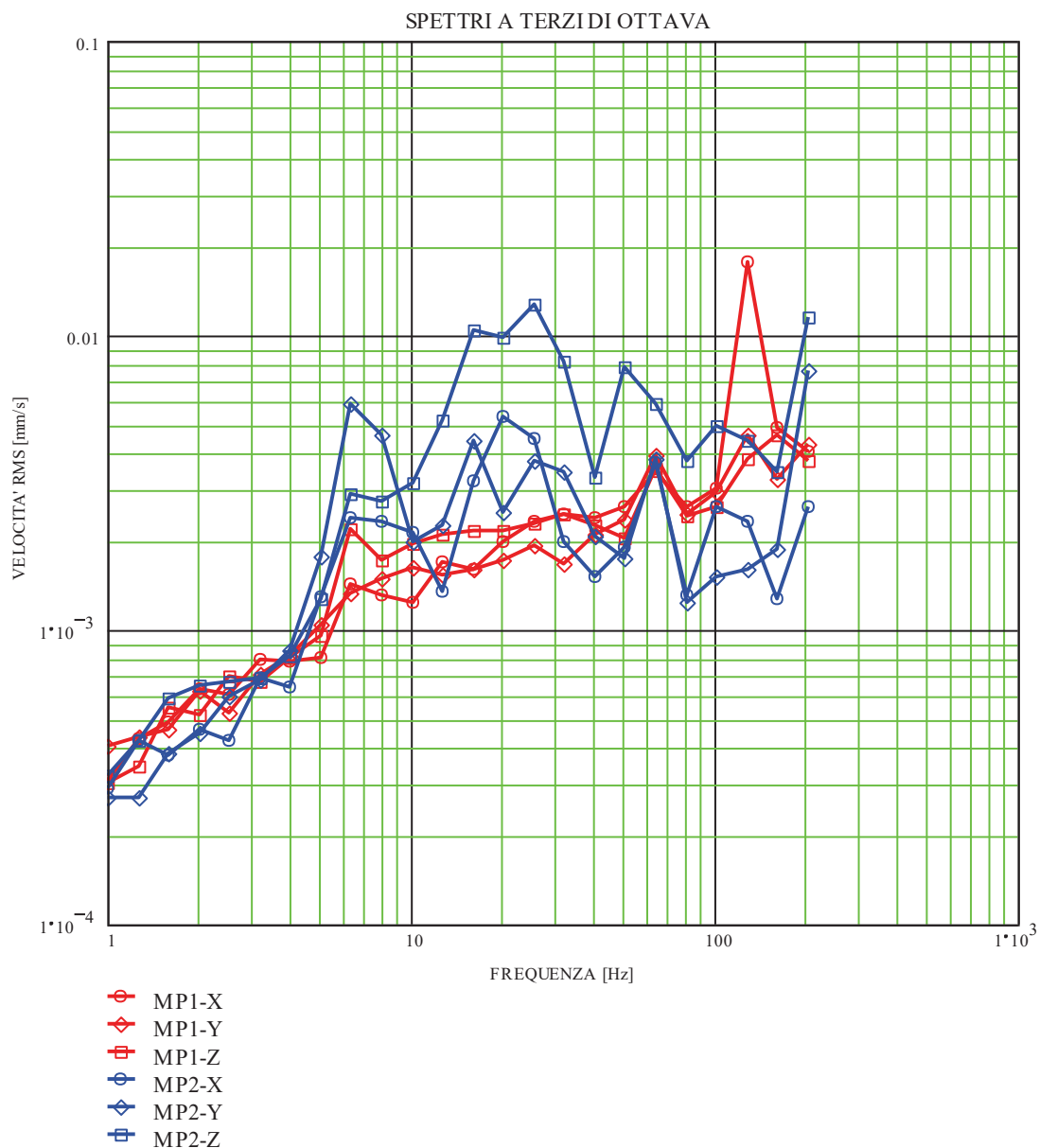
	FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA	RTdM-2020-003-01-Allegato.doc
		Marzo 2020

EVENTO 003 — 16.12.2019 — 12:32

Posizioni di Misura	Velocità [mm/s]		Fattore di Cresta PEAK/RMS [—]	Indicatore vibrazionale UNI 9614:1970 [mm/s ²]		Indicatore vibrazionale UNI 9614:2017 [mm/s ²]	Rapporto indicatori [—]
	PEAK (°)	RMS		Comp.	max		
MP1-X	0.14	0.02	6.60	0.74	0.74	0.64	0.87
MP1-Y	0.16	0.01	14.57	0.39			
MP1-Z	0.06	0.01	5.11	0.40			
MP2-X	0.05	0.01	4.56	0.40	1.02	1.10	1.08
MP2-Y	0.06	0.01	4.40	0.52			
MP2-Z	0.11	0.03	3.86	1.02			

(°) Indicatore Vibrazionale per la UNI 9916:2014



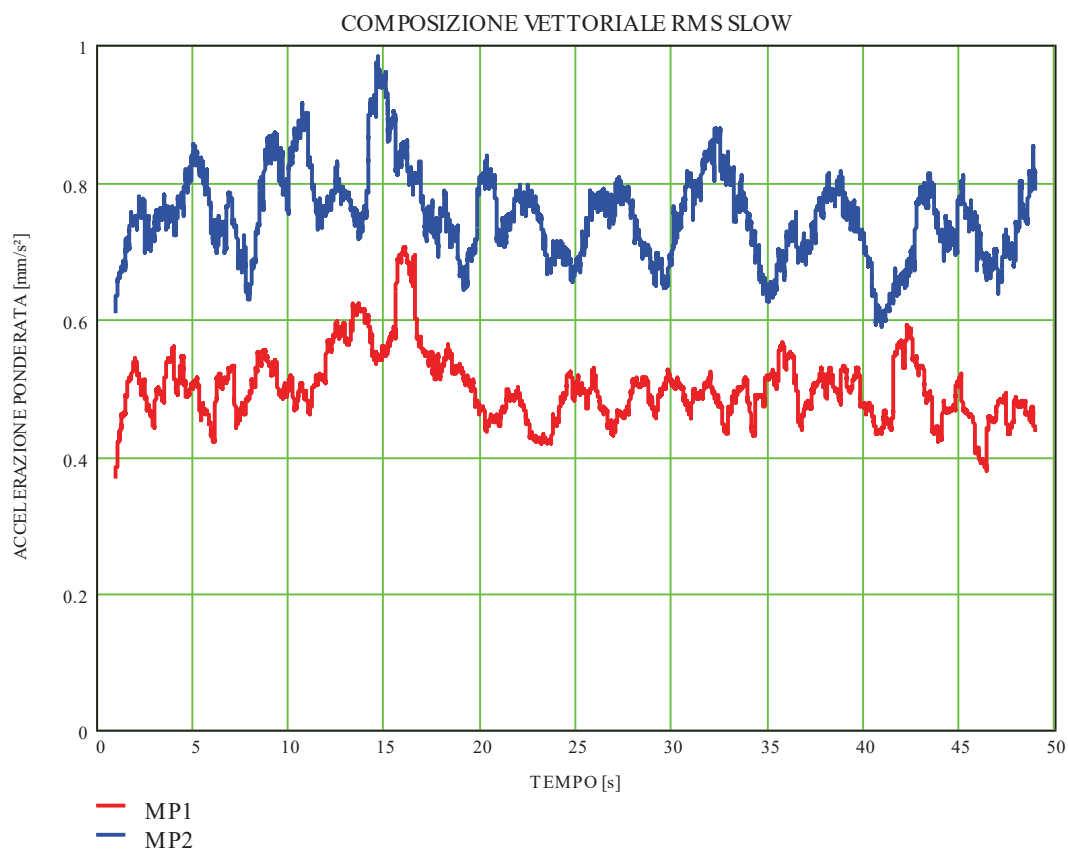


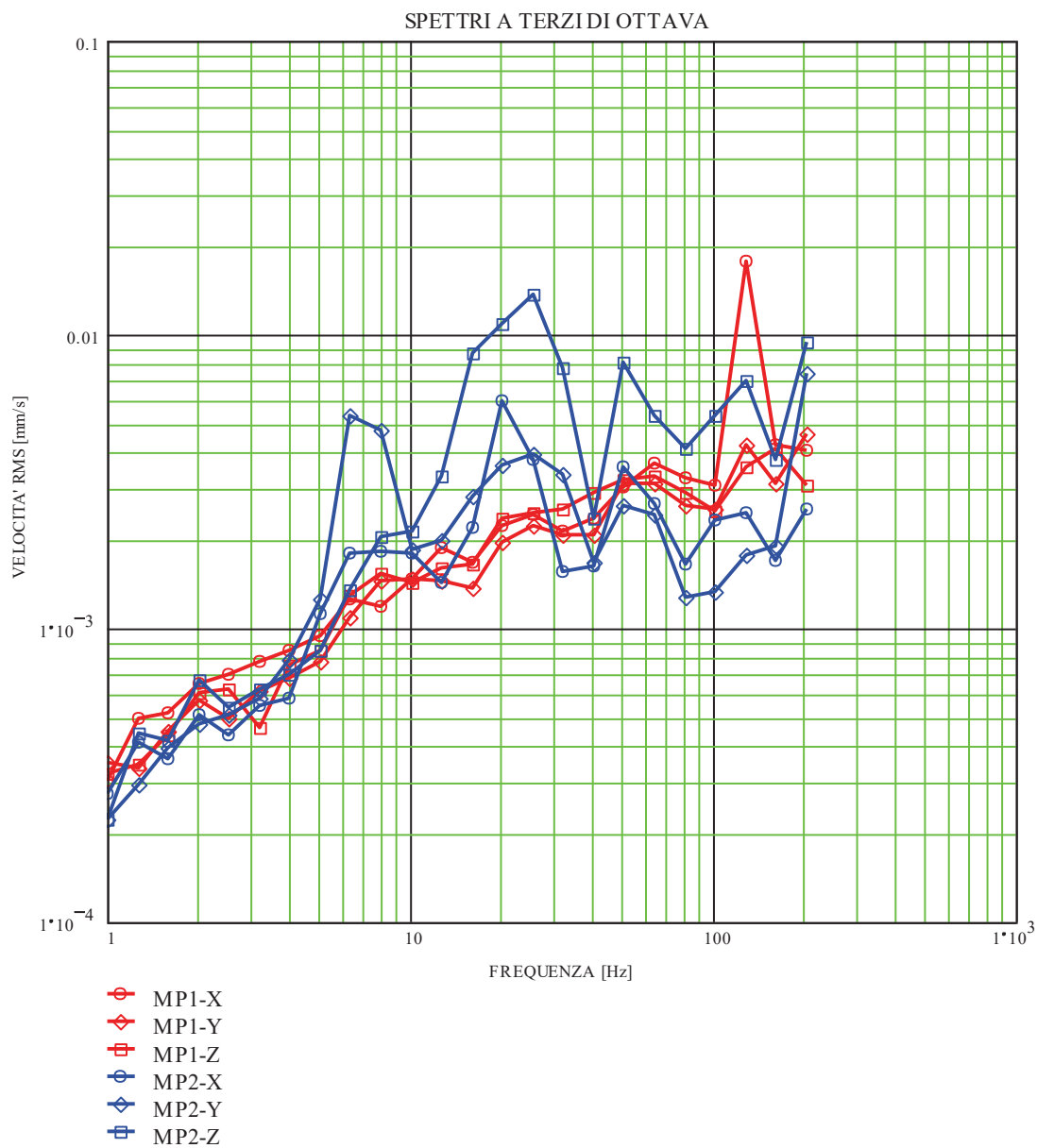
	FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA	RTdM-2020-003-01-Allegato.doc Marzo 2020
---	--	--

EVENTO 004 — 16.12.2019 — 12:32

Posizioni di Misura	Velocità [mm/s]		Fattore di Cresta PEAK/RMS [—]	Indicatore vibrazionale UNI 9614:1970 [mm/s ²]		Indicatore vibrazionale UNI 9614:2017 [mm/s ²]	Rapporto indicatori [—]
	PEAK (°)	RMS		Comp.	max		
MP1-X	0.14	0.02	6.64	0.75	0.75	0.71	0.94
MP1-Y	0.08	0.01	7.40	0.38			
MP1-Z	0.08	0.01	7.73	0.39			
MP2-X	0.05	0.01	4.26	0.39	0.99	0.98	0.99
MP2-Y	0.05	0.01	3.81	0.50			
MP2-Z	0.10	0.03	3.76	0.99			

(°) Indicatore Vibrazionale per la UNI 9916:2014



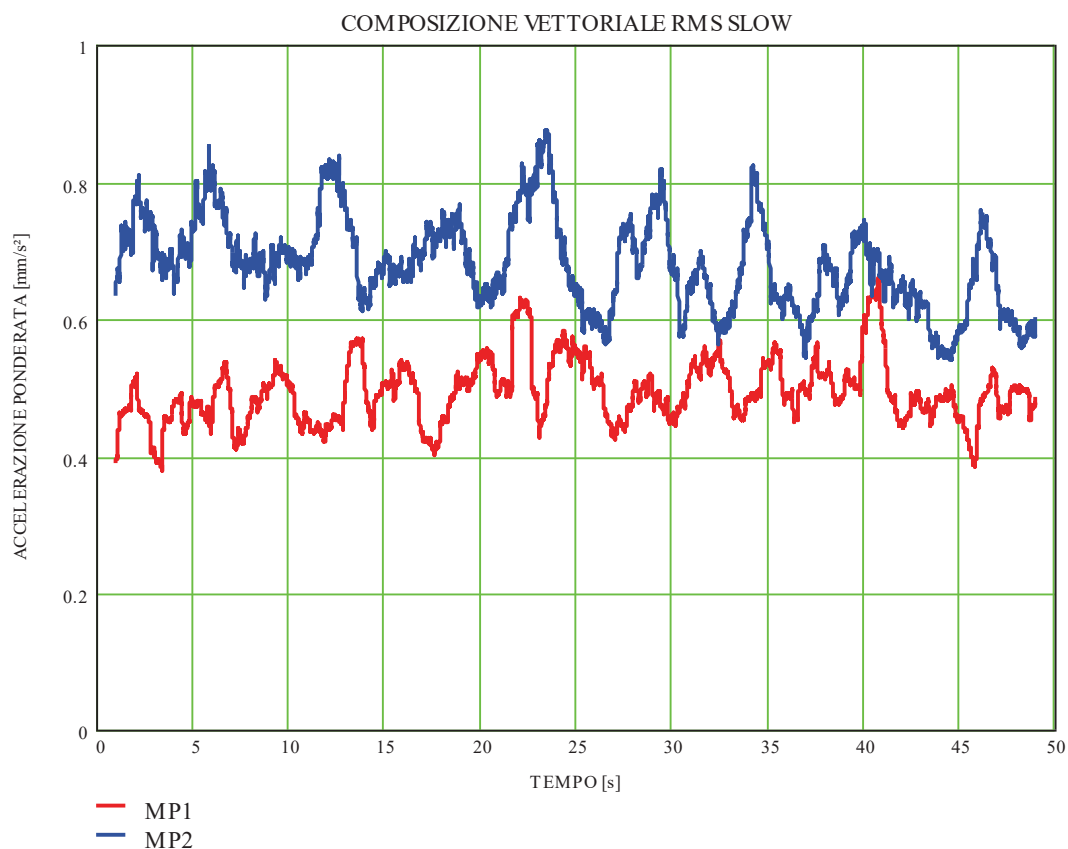


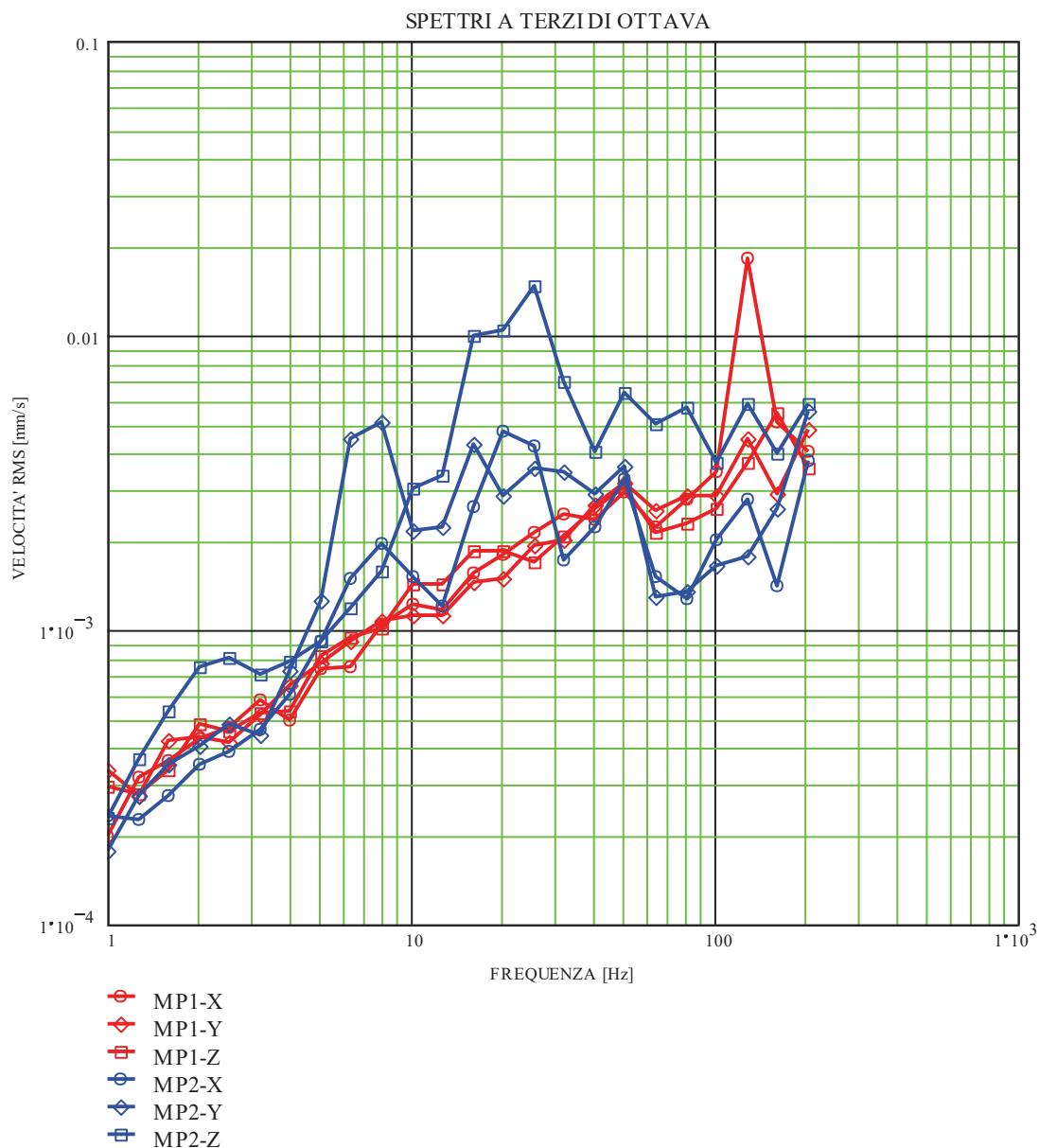
	FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA	RTdM-2020-003-01-Allegato.doc Marzo 2020
---	--	--


EVENTO 005 — 16.12.2019 — 12:33

Posizioni di Misura	Velocità [mm/s]		Fattore di Cresta PEAK/RMS [—]	Indicatore vibrazionale UNI 9614:1970 [mm/s ²]		Indicatore vibrazionale UNI 9614:2017 [mm/s ²]	Rapporto indicatori [—]
	PEAK (°)	RMS		Comp.	max		
MP1-X	0.12	0.02	5.55	0.76	0.76	0.66	0.88
MP1-Y	0.09	0.01	8.84	0.38			
MP1-Z	0.07	0.01	6.91	0.38			
MP2-X	0.04	0.01	4.10	0.38	0.97	0.87	0.90
MP2-Y	0.06	0.01	4.14	0.48			
MP2-Z	0.11	0.03	4.02	0.97			

(°) Indicatore Vibrazionale per la UNI 9916:2014



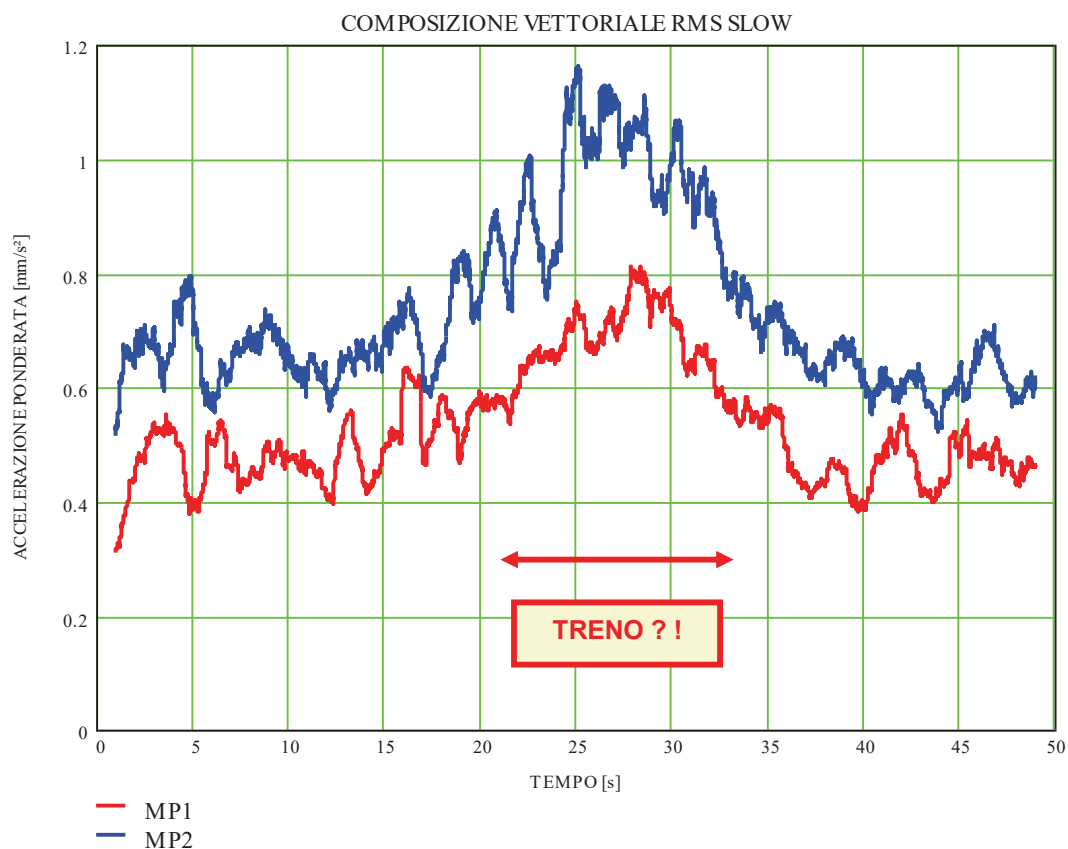


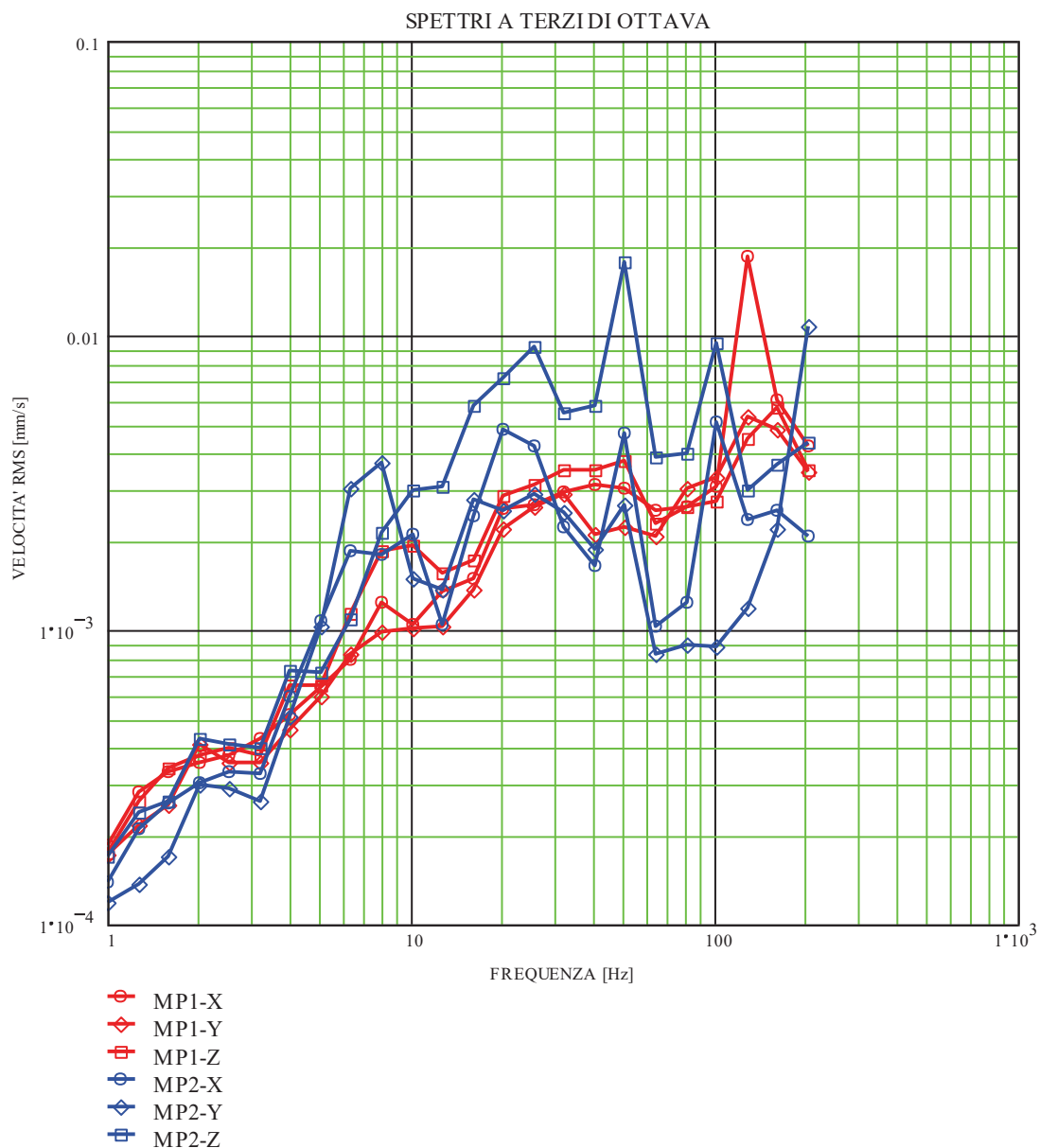
	FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA	RTdM-2020-003-01-Allegato.doc Marzo 2020
---	--	--

EVENTO 006 — 16.12.2019 — 13:40

Posizioni di Misura	Velocità [mm/s]		Fattore di Cresta PEAK/RMS [—]	Indicatore vibrazionale UNI 9614:1970 [mm/s ²]		Indicatore vibrazionale UNI 9614:2017 [mm/s ²]	Rapporto indicatori [—]
	PEAK (°)	RMS		Comp.	max		
MP1-X	0.13	0.02	6.15	0.79	0.79	0.81	1.03
MP1-Y	0.07	0.01	6.62	0.40			
MP1-Z	0.07	0.01	5.80	0.45			
MP2-X	0.05	0.01	4.36	0.42	0.98	1.16	1.19
MP2-Y	0.06	0.01	4.22	0.50			
MP2-Z	0.11	0.03	3.87	0.98			

(°) Indicatore Vibrazionale per la UNI 9916:2014



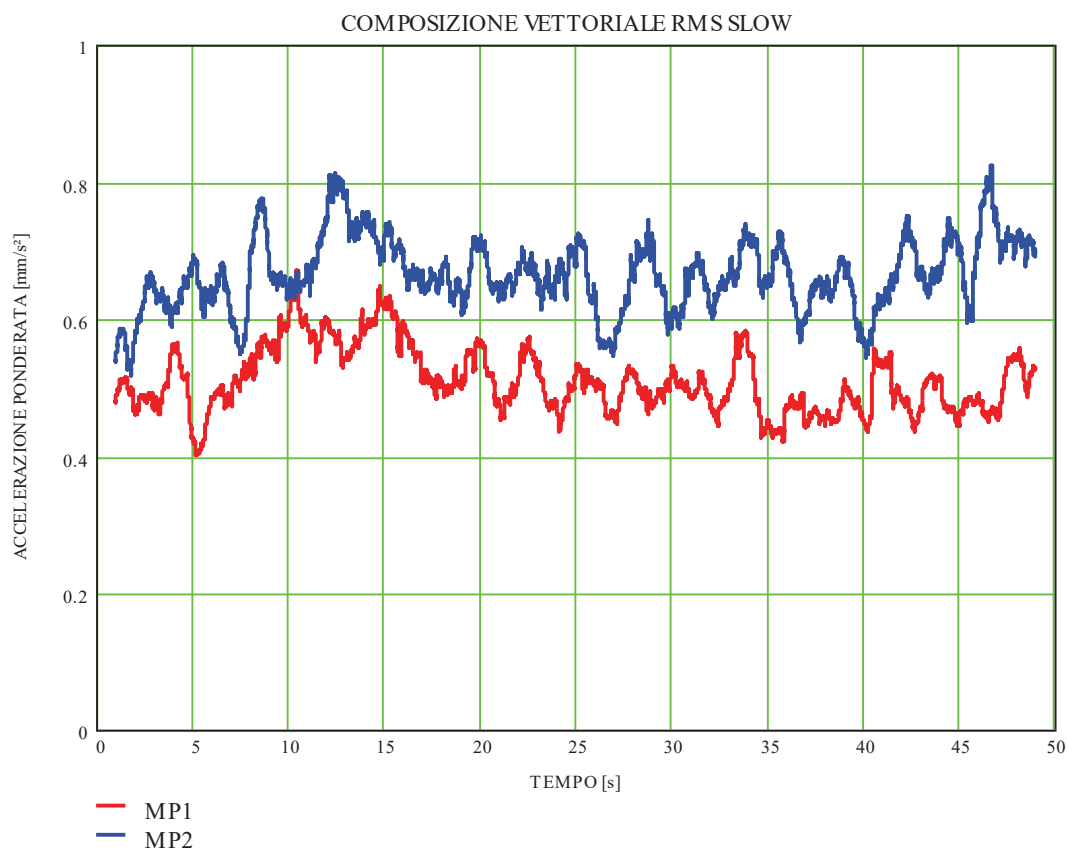


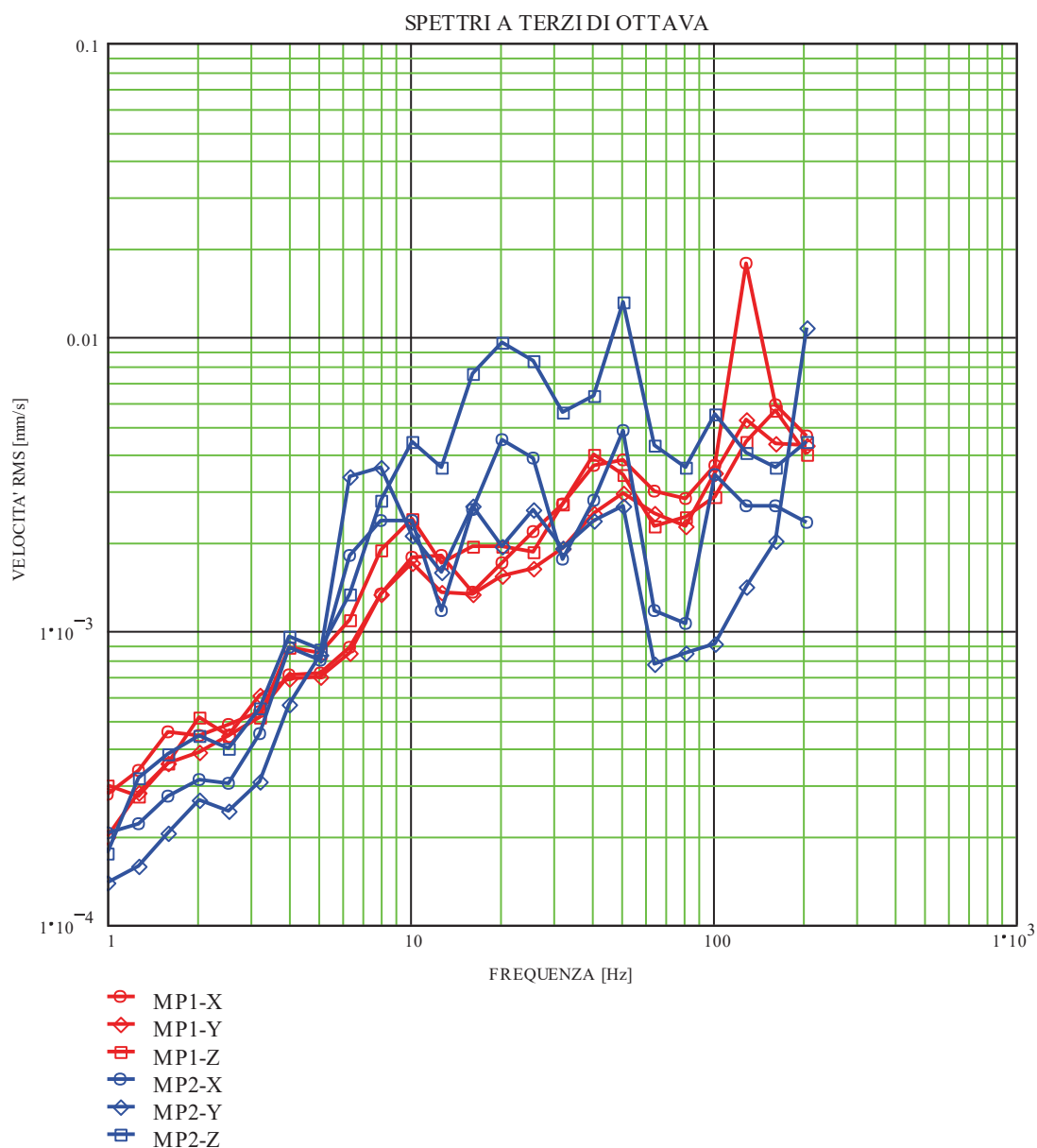
	FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA	RTdM-2020-003-01-Allegato.doc
		Marzo 2020

EVENTO 007 — 16.12.2019 — 12:42

Posizioni di Misura	Velocità [mm/s]		Fattore di Cresta PEAK/RMS [—]	Indicatore vibrazionale UNI 9614:1970 [mm/s ²]		Indicatore vibrazionale UNI 9614:2017 [mm/s ²]	Rapporto indicatori [—]
	PEAK (°)	RMS		Comp.	max		
MP1-X	0.11	0.02	5.05	0.77	0.77	0.67	0.88
MP1-Y	0.09	0.01	7.76	0.40			
MP1-Z	0.09	0.01	7.69	0.44			
MP2-X	0.05	0.01	4.00	0.41	0.89	0.82	0.92
MP2-Y	0.05	0.01	3.96	0.50			
MP2-Z	0.09	0.02	3.71	0.89			

(°) Indicatore Vibrazionale per la UNI 9916:2014



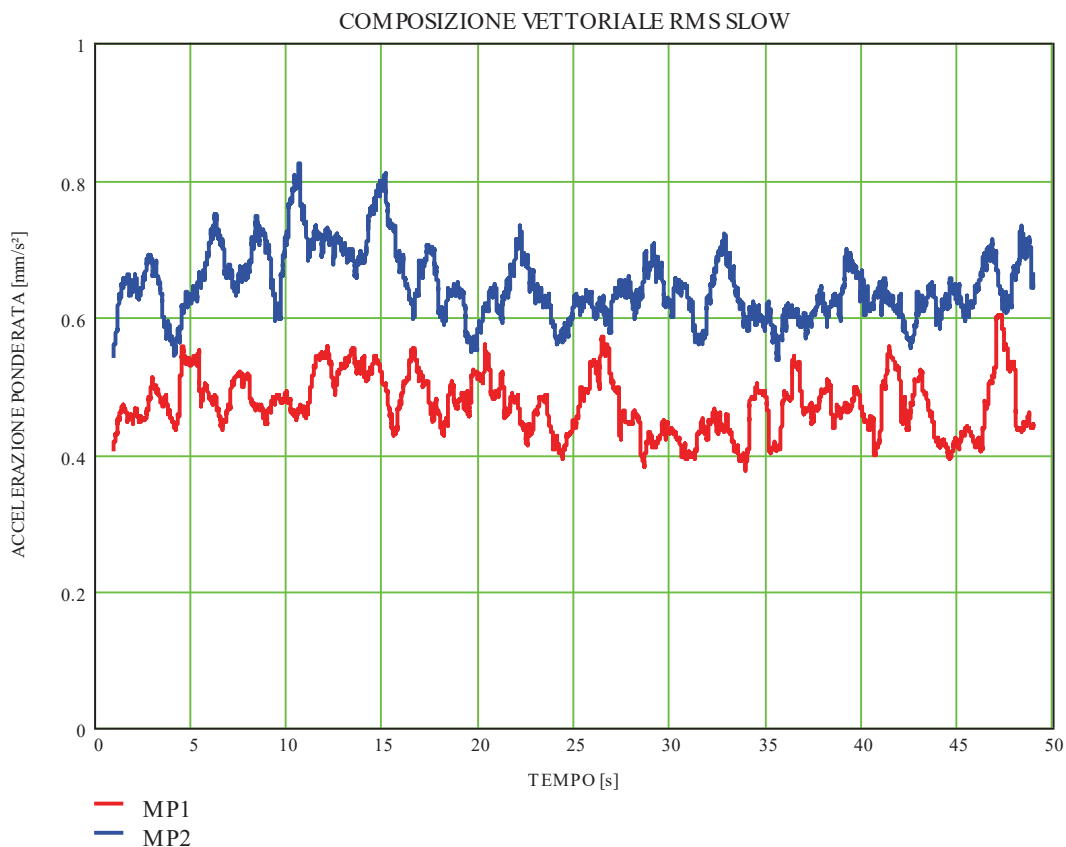


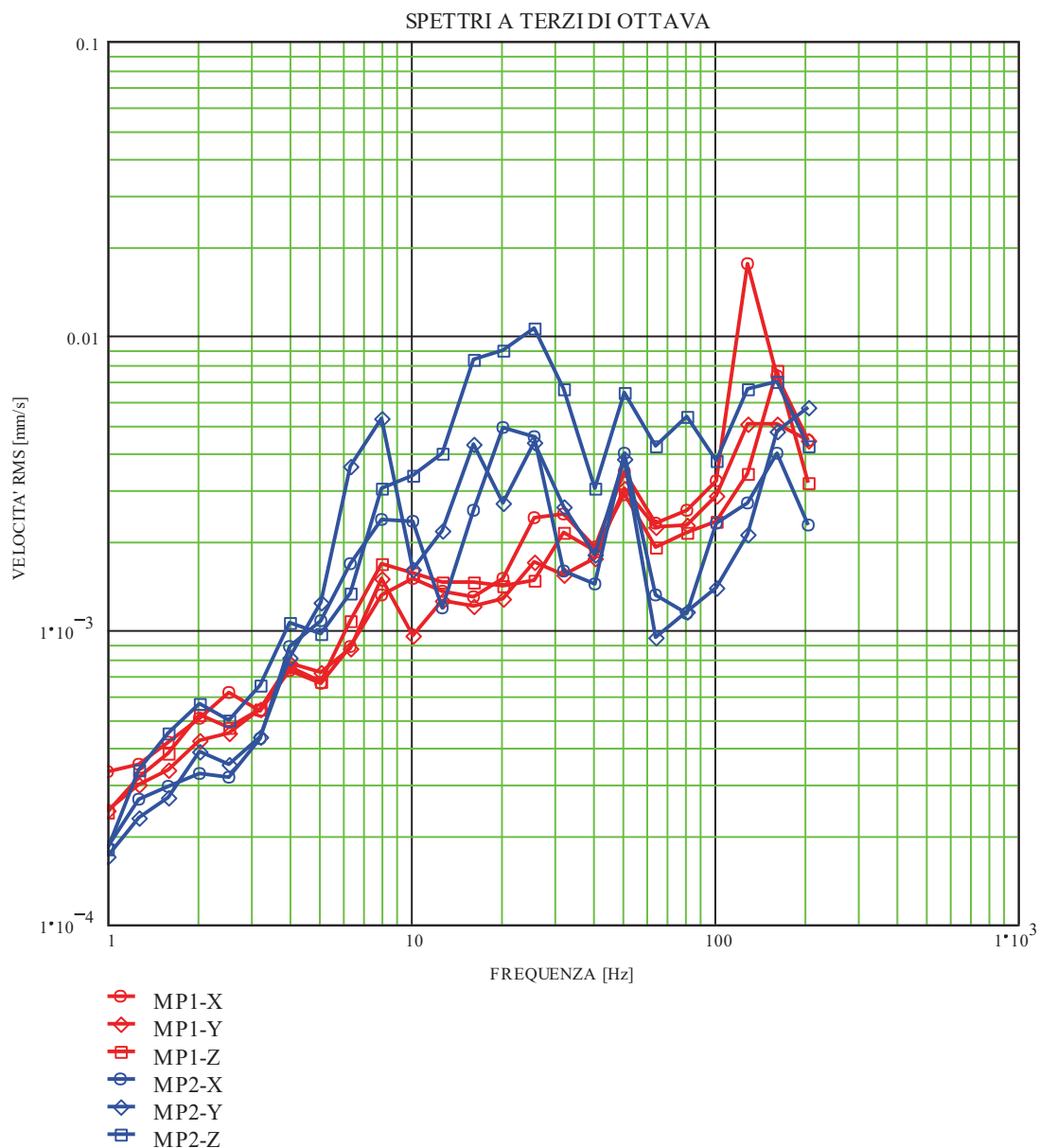
	FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA	RTdM-2020-003-01-Allegato.doc Marzo 2020
---	--	--

EVENTO 008 — 16.12.2019 — 12:42

Posizioni di Misura	Velocità [mm/s]		Fattore di Cresta PEAK/RMS [—]	Indicatore vibrazionale UNI 9614:1970 [mm/s ²]		Indicatore vibrazionale UNI 9614:2017 [mm/s ²]	Rapporto indicatori [—]
	PEAK (°)	RMS		Comp.	max		
MP1-X	0.11	0.02	5.33	0.75	0.75	0.60	0.80
MP1-Y	0.09	0.01	8.50	0.39			
MP1-Z	0.09	0.01	8.32	0.40			
MP2-X	0.05	0.01	4.34	0.40	0.86	0.82	0.96
MP2-Y	0.06	0.01	4.09	0.49			
MP2-Z	0.09	0.02	3.82	0.86			

(°) Indicatore Vibrazionale per la UNI 9916:2014



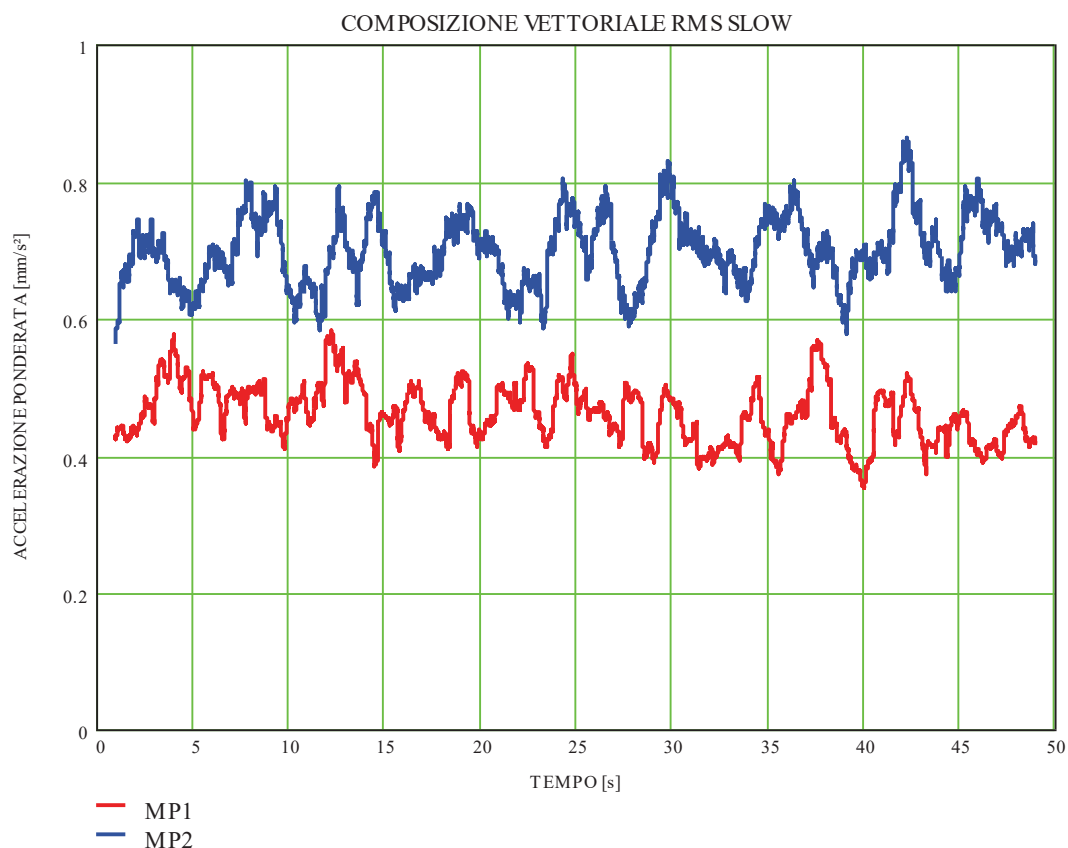


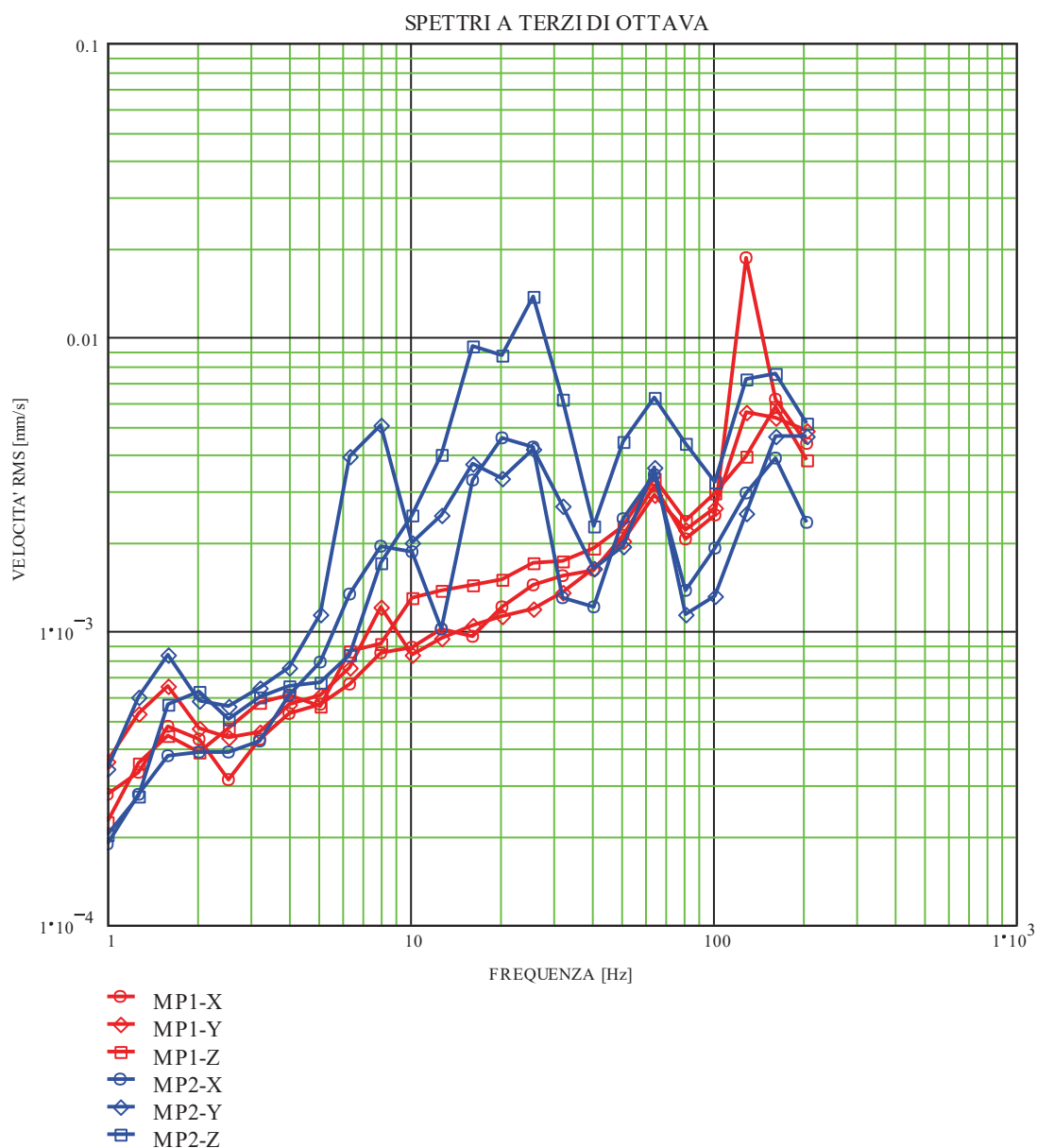
	FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA	RTdM-2020-003-01-Allegato.doc Marzo 2020
---	--	--

EVENTO 009 — 16.12.2019 — 12:43

Posizioni di Misura	Velocità [mm/s]		Fattore di Cresta PEAK/RMS [—]	Indicatore vibrazionale UNI 9614:1970 [mm/s ²]		Indicatore vibrazionale UNI 9614:2017 [mm/s ²]	Rapporto indicatori [—]
	PEAK (°)	RMS		Comp.	max		
MP1-X	0.13	0.02	6.00	0.76	0.76	0.58	0.77
MP1-Y	0.11	0.01	9.71	0.40			
MP1-Z	0.06	0.01	5.63	0.39			
MP2-X	0.04	0.01	3.79	0.39	0.91	0.86	0.95
MP2-Y	0.05	0.01	3.80	0.48			
MP2-Z	0.09	0.03	3.66	0.91			

(°) Indicatore Vibrazionale per la UNI 9916:2014





	FERROVIENORD – Ramo Milano e Ramo Iseo Studio acustico e vibrazionale ferroviario e trasportistico stradale di supporto alla progettazione di interventi sulle linee esistenti SERVIZIO Q03 - AMMODERNAMENTO E POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DEL NODO BOVISA RELAZIONE TECNICA DI MISURA E VALUTAZIONE DELLE VIBRAZIONI SULL'EDIFICIO RICETTORE POLITECNICO DI MILANO BOVISA	RTdM-2020-003-01-Allegato.doc Marzo 2020
---	--	--

EVENTO 010 — 16.12.2019 — 12:49

Posizioni di Misura	Velocità [mm/s]		Fattore di Cresta PEAK/RMS [—]	Indicatore vibrazionale UNI 9614:1970 [mm/s ²]		Indicatore vibrazionale UNI 9614:2017 [mm/s ²]	Rapporto indicatori [—]
	PEAK (°)	RMS		Comp.	max		
MP1-X	0.16	0.02	6.78	0.82	0.82	0.83	1.01
MP1-Y	0.09	0.01	7.56	0.42			
MP1-Z	0.09	0.01	7.05	0.46			
MP2-X	0.05	0.01	4.10	0.42	0.87	1.08	1.24
MP2-Y	0.05	0.01	3.68	0.52			
MP2-Z	0.10	0.02	4.19	0.87			

(°) Indicatore Vibrazionale per la UNI 9916:2014

