

COMMITTENTE



COMUNE DI GENOVA

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
**ALBERTO BITOSSO**  
IL DIRETTORE ESECUTORE DEL CONTRATTO  
**ANTONIO ROSSA**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER  
IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE  
CONNESSE)**

PROGETTAZIONE

MANDANTARIA



MANDANTE

MANDANTE

MANDANTE



Società



STUDIO DI FATTIBILITA' AMBIENTALE

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE

Dott. Ing. *Alessandro Perosso*

SCALA:

-

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

E 2 1 D 0 2 D Z 1 R H I M 0 0 0 1 0 0 3 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Angelotti	01/2022	A. Bettinetti	01/2022	M. Marinelli	01/2022	A.Perosso 01/2022
B	EMISSIONE ESECUTIVA	F. Angelotti	02/2022	A. Bettinetti	02/2022	M. Marinelli	02/2022	A.Perosso 02/2022
C	VARIAZIONE TEAM DI COMMESSA	F. Angelotti	05/2022	A. Bettinetti	05/2022	M. Marinelli	05/2022	A.Perosso 05/2022

File: E21D 00 D Z1 RH IM0004 002 C

n. Elab.: 35

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>02 D Z1</td> <td>RH</td> <td>IM0001 003</td> <td>C</td> <td>2 di 62</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	2 di 62
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	2 di 62								

## Sommario

1. PREMESSE .....	3
2. QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO .....	4
2.1 Criteri di accettabilità delle vibrazioni relativamente agli effetti sugli edifici.....	4
2.2 Il disturbo vibrazionale alle persone.....	6
3. RILIEVI PROPEDEUTICI ALLA TARATURA DEI MODELLI DI CALCOLO .....	7
3.1 Rilievi vibrazionali .....	7
3.1.1 Strumentazione utilizzata .....	7
3.1.2 Rilievi eseguiti e risultati ottenuti .....	9
4. STUDIO PREVISIONALE VIBRAZIONALE.....	55
4.1 Modalità di esecuzione dello studio previsionale .....	56
4.2 Risultati della modellazione .....	59
4.2.1 Area rimessa Gavette (oggetto di altro appalto).....	59
4.2.2 Area rimessa Staglieno (oggetto di altro appalto).....	60
4.2.3 Area cantiere lungo linea.....	60
4.3 Considerazioni conclusive .....	61

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>02 D Z1</td> <td>RH</td> <td>IM0001 003</td> <td>C</td> <td>3 di 62</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	3 di 62
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	3 di 62								

## 1. PREMESSE

Il presente studio tratta la valutazione previsionale dell'impatto vibrazionale connesso alle lavorazioni condotte nei cantieri funzionali alla realizzazione della nuova filovia di Genova nell'ambito del progetto denominato "ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE".

Lo studio viene condotto in ottemperanza alle normative nazionali e regionali applicabili per lo specifico caso e riportate per completezza al paragrafo seguente.

La tratta esaminata e le aree di cantiere di relativa pertinenza interessano un'ampia porzione del territorio del comune di Genova che si estende da ovest verso est secondo una direttrice suborizzontale per buona parte prossima al lungo mare ed una diramazione principale secondo un orientamento sud-ovest – nord-est corrispondente alla valle del torrente Bisagno.

Dal punto di vista vibrazionale non esistono documenti di piano ai quali corrispondano classificazioni del territorio. Il confronto tra livelli attesi e valori limite avviene pertanto unicamente nel rispetto dei disposti delle norme tecniche di riferimento applicabili e segnatamente la norma UNI 9916 per la possibile insorgenza di danni ai fabbricati e la norma UNI 9614 per la valutazione del disturbo alle persone.

Il complesso di attività di cui al presente report è stato oggetto del lavoro di un team costituito da Tecnici Competenti in Acustica Ambientale (TCAA) ed esperti di vibrazioni, coadiuvati anche da tecnici di campo per le fasi operative rappresentate dall'esecuzione dei rilievi acustici e vibrazionali finalizzati alla valutazione dello stato di fatto.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>					
<b>RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE</b>	COMMESSA E21D	LOTTO 02 D Z1	CODIFICA RH	DOCUMENTO IM0001 003	REV. C	FOGLIO 4 di 62

## 2. QUADRO DI RIFERIMENTO NORMATIVO

Il quadro di riferimento normativo applicabile in materia di vibrazioni comprende solo due norme tecniche:

- UNI 9916:2014: “Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici”
- UNI 9614:2017: “Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo”

### 2.1 Criteri di accettabilità delle vibrazioni relativamente agli effetti sugli edifici

In merito agli aspetti relativi gli effetti negativi di degrado sugli edifici soggetti a vibrazioni, in Italia si fa comunemente riferimento alla norma UNI 9916 nella revisione del Gennaio 2014 “*Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici*”, che è in sostanziale accordo con i contenuti di altre norme internazionali: ISO 4866, DIN 4150/3, BS 6472.

Come noto, per questo aspetto la normativa definisce come parametro di riferimento per la valutazione degli effetti delle vibrazioni il massimo valore (o di picco) delle componenti delle velocità di vibrazione ( $V_L$ ,  $V_T$ ,  $V_V$ ) definito come Peak Component Particle Velocity (p.c.p.v.):

$$V_{picco} = \max [\max [V_L(t)], \max [V_T(t)], \max [V_V(t)]]$$

valutati alla fondazione (basamento) e sui solai ai vari piani (in quota). Oppure il massimo valore (o di picco) del vettore velocità nel suo complesso istante per istante definito come Peak Particle Velocity (p.p.v.), valutati alla fondazione (basamento) e sui solai ai vari piani (in quota).

La stessa norma UNI 9916:2014, alla quale si rimanda integralmente per ogni maggiore approfondimento, fornisce in appendice D alcuni valori di riferimento per la p.c.p.v. e la p.p.v. al di sotto dei quali, salvo casi particolari, è ragionevole presumere che non si abbiano danni. Tali valori sono differenziati per le varie tipologie di edifici e dipendono dalla natura (continua o transitoria) del fenomeno vibrazionale.

Le vibrazioni di breve durata (o transitoria), quali quelle indotte da attività di cantiere, sono quelle vibrazioni per cui sono da escludere problemi di fatica e amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata. Nella tabella di seguito riportata sono indicati i valori limite fissati dalla UNI 9916:2014 al di sotto dei quali è ragionevole escludere danni anche minori o “cosmetic damage” (cioè non strutturali).

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">E21D</td> <td style="text-align: center;">02 D Z1</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">IM0001 003</td> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">5 di 62</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	5 di 62
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	5 di 62								

Occorre inoltre specificare che il superamento dei limiti indicati non implica necessariamente il verificarsi del danno, ma è un segnale di necessità di indagini più approfondite.

prospetto D.1 Valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s				
		Fondazioni			Piano alto	Solai Componente Verticale
		Da 1 Hz a 10 Hz	Da 10 Hz a 50 Hz	Da 50 Hz a 100 Hz <sup>*)</sup>	Per tutte le frequenze	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ( $f=10$ Hz) a 40 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 40 ( $f=50$ Hz) a 50 ( $f=100$ Hz)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ( $f=10$ Hz) a 15 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 15 ( $f=50$ Hz) a 20 ( $f=100$ Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ( $f=10$ Hz) a 8 ( $f=50$ Hz)	Varia linearmente da 8 ( $f=50$ Hz) a 10 ( $f=100$ Hz)	8	3/4

<sup>\*)</sup> Per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz.

Per la componente verticale dei singoli solai, la norma indica come valore di riferimento per la p.c.p.v il valore di 20 mm/s limitatamente alle prime due classi di edifici. Tale valore è indipendente dal contenuto in frequenza della registrazione ed è inferiore per la terza classe di edifici.

prospetto D.2 Valori di riferimento per le componenti orizzontali della velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni durature sulle costruzioni

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

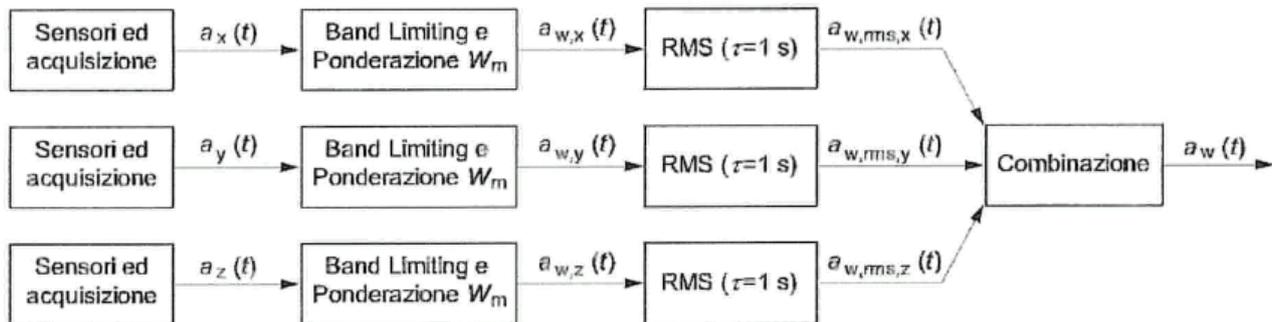
Questi valori di riferimento sono utilizzabili per tutti i piani e per le fondazioni. Per la componente verticale dei singoli solai la norma indica come valore di riferimento per la p.c.p.v il valore di 10 mm/s limitatamente ad edifici appartenenti alle categorie 1 e 2 e indipendentemente dal contenuto in frequenza della registrazione. Per la categoria 3 possono essere assunti valori inferiori.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>02 D Z1</td> <td>RH</td> <td>IM0001 003</td> <td>C</td> <td>6 di 62</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	6 di 62
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	6 di 62								

## 2.2 Il disturbo vibrazionale alle persone

Per quanto riguarda il disturbo vibrazionale per la popolazione, si fa riferimento alla norma UNI 9614:2017 che è in sostanziale accordo con i contenuti di altre norme internazionali: ISO 2631/1, ISO 2631/2, DIN 4150/2, BS 6472. Nei successivi confronti dei valori previsti con i valori ammissibili forniti dalle norme applicabili, si è fatto riferimento ai livelli previsti dalla norma UNI 9614:2017 per le diverse destinazioni d'uso.

L'accelerazione misurata sui tre assi  $a_x(t)$ ,  $a_y(t)$ ,  $a_z(t)$  viene filtrata con un filtro passa banda (band-limiting passa alto o passa basso), e successivamente con il filtro di ponderazione. Per la ponderazione in frequenza viene utilizzata la curva  $W_m$  come definita dalla ISO 2631 - 2 indipendentemente dalla direzione di misura.



Schema del calcolo della accelerazione ponderata efficace

La valutazione del disturbo generato da una sorgente deve essere effettuata confrontando il parametro descrittore della vibrazione della sorgente  $V_{sor}$  con i limiti di riferimento. Per ambienti ad uso abitativo i limiti di riferimento massimi per la massima accelerazione ponderata della sorgente  $V_{sor}$  sono:

- periodo diurno: 7,2 mm/s<sup>2</sup>
- periodo notturno: 3,6 mm/s<sup>2</sup>
- periodo diurno di giornate festive: 5,4 mm/s<sup>2</sup>

Per ambienti ad uso lavorativo i limiti di riferimento massimi per la massima accelerazione ponderata della sorgente  $V_{sor}$  sono:

- periodo diurno o notturno: 14 mm/s<sup>2</sup>

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>02 D Z1</td> <td>RH</td> <td>IM0001 003</td> <td>C</td> <td>7 di 62</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	7 di 62
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	7 di 62								

### 3. RILIEVI PROPEDEUTICI ALLA TARATURA DEI MODELLI DI CALCOLO

Al fine di conferire ai modelli previsionali un maggiore grado di affidabilità, nell'ambito della redazione degli studi specialistici, si è provveduto ad eseguire una campagna di rilievi vibrazionali finalizzata alla caratterizzazione dello stato di fatto in un congruo numero di punti.

Il piano delle misure ha previsto complessivamente l'esecuzione di rilievi speditivi di vibrazioni le cui risultanze sono state utilizzate per la taratura del modello di calcolo previsionale vibrazionale.

Nello specifico si è prevista l'esecuzione di n. 10 rilievi vibrazionali. Nelle planimetrie allegate le postazioni di rilievo vibrazionale vengono indicate con cerchi in colore rosso.

#### 3.1 Rilievi vibrazionali

Sono stati eseguiti rilievi vibrazionali in corrispondenza di n. 10 postazioni distribuite lungo il tracciato in posizioni ritenute rappresentative di classi omogenee di ricettori e di suolo urbano o in corrispondenza di punti significativi quali ad esempio i parcheggi di interscambio o le officine di rimessa ubicate lungo il tracciato.

Le misure sono state eseguite con un sistema di acquisizione dati a cui viene collegato un sensore triassiale di vibrazioni in box metallico e con un pc portatile atto a garantire il controllo delle operazioni di misura.

##### 3.1.1 Strumentazione utilizzata

Per l'esecuzione dei rilievi vibrazionali è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- Sistema di acquisizione dati

Per la registrazione dei dati accelerometrici si è fatto uso di un sistema di acquisizione automatico composto da un personal computer (PC) dotato di scheda di acquisizione A/D ad elevate prestazioni. Il sistema è equipaggiato con moduli di acquisizione HBM Quantum X ad 8 canali per assicurare il controllo del numero di sensori accelerometrici previsti in corrispondenza di ciascuna sezione di misura, come meglio dettagliato nel seguito.

Il sistema – gestito da software appositamente sviluppato mediante applicativo Catman della HBM per rilievi strumentali ed operante in ambiente Windows – è in grado di effettuare acquisizione, controllo, filtraggio e gestione dei rilievi secondo differenti modalità operative. Nello specifico il sistema è stato programmato per eseguire una rilevazione in continuo.



*Sistema Quantum X 840 B a 8 canali*

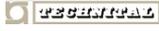
▪ Sensori accelerometrici

Per l'esecuzione delle misure sono stati utilizzati sensori accelerometrici tali da consentire, in linea generale, una corretta acquisizione dei segnali tenendo conto dei massimi livelli di accelerazione attesi o possibili nelle diverse posizioni di misura.

Nello specifico sono stati impiegati sensore di tipo PCB 393 B12 con fondo scala 0.5 g.

Di seguito si riporta un estratto della scheda tecnica dei sensori fornita dal costruttore con le principali caratteristiche tecniche e prestazionali.

PERFORMANCE			
Sensitivity ( $\pm 10\%$ )	10,000 mV/g	1019.4 mV/(m/s <sup>2</sup> )	
Measurement Range	0.5 g pk	4.9 m/s <sup>2</sup> pk	
Frequency Range ( $\pm 5\%$ )	0.15 to 1,000 Hz	0.15 to 1,000 Hz	
Frequency Range ( $\pm 10\%$ )	0.10 to 2,000 Hz	0.10 to 2,000 Hz	
Frequency Range ( $\pm 3$ dB)	0.05 to 4,000 Hz	0.05 to 4,000 Hz	
Resonant Frequency	$\geq 10,000$ Hz	$\geq 10,000$ Hz	
Phase Response ( $\pm 5^\circ$ )	1 to 1,000 Hz	1 to 1,000 Hz	
Broadband Resolution (1 to 10000 Hz)	0.000008 g rms	0.00008 m/s <sup>2</sup> rms	[1]
Non-Linearity	$\leq 1\%$	$\leq 1\%$	[2]
Transverse Sensitivity	$\leq 7\%$	$\leq 7\%$	
ENVIRONMENTAL			
Overload Limit (Shock)	$\pm 5,000$ g pk	$\pm 49,050$ m/s <sup>2</sup> pk	
Temperature Range	-50 to 180 °F	-45 to 82 °C	
Temperature Response	See Graph %/°F	See Graph %/°F	
Base Strain Sensitivity	$\leq 0.0005$ g/ $\mu\epsilon$	$\leq 0.005$ (m/s <sup>2</sup> )/ $\mu\epsilon$	[1]
ELECTRICAL			
Excitation Voltage	18 to 30 VDC	18 to 30 VDC	
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA	
Output Impedance	<1,500 Ohm	<1,500 Ohm	
Output Bias Voltage	8 to 12 VDC	8 to 12 VDC	
Discharge Time Constant	$\geq 3.5$ sec	$\geq 3.5$ sec	
Settling Time	<60 sec	<60 sec	
Spectral Noise (1 Hz)	1.30 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	12.7 ( $\mu\text{m}/\text{sec}^2$ )/ $\sqrt{\text{Hz}}$	[1]
Spectral Noise (10 Hz)	0.32 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	3.1 ( $\mu\text{m}/\text{sec}^2$ )/ $\sqrt{\text{Hz}}$	[1]
Spectral Noise (100 Hz)	0.13 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	1.3 ( $\mu\text{m}/\text{sec}^2$ )/ $\sqrt{\text{Hz}}$	[1]
Spectral Noise (1 kHz)	0.10 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$	1 ( $\mu\text{m}/\text{sec}^2$ )/ $\sqrt{\text{Hz}}$	[1]
Electrical Isolation (Case)	$\geq 10^8$ Ohm	$\geq 10^8$ Ohm	



**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FIOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)**

**RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	9 di 62

Model Number <b>393B12</b>	<b>SEISMIC ICP® ACCELEROMETER</b>		Revision: J ECN #: 25881
<b>Performance</b>	<b>ENGLISH</b>	<b>SI</b>	<b>OPTIONAL VERSIONS</b>
Sensitivity(± 10 %)	10,000 mV/g	1019.4 mV/(m/s <sup>2</sup> )	Optional versions have identical specifications and accessories as listed for the standard model except where noted below. More than one option may be used.
Measurement Range	0.5 g pk	4.9 m/s <sup>2</sup> pk	
Frequency Range(± 5 %)	0.15 to 1000 Hz	0.15 to 1000 Hz	
Frequency Range(± 10 %)	0.10 to 2000 Hz	0.10 to 2000 Hz	
Frequency Range(± 3 dB)	0.05 to 4000 Hz	0.05 to 4000 Hz	
Resonant Frequency	≥ 10 kHz	≥ 10 kHz	
Phase Response(± 5 °)	1 to 1000 Hz	1 to 1000 Hz	
Broadband Resolution(1 to 10,000 Hz)	0.000008 g rms	0.00008 m/s <sup>2</sup> rms	[1]
Non-Linearity	≤ 1 %	≤ 1 %	[2]
Transverse Sensitivity	≤ 7.0 %	≤ 7.0 %	
<b>Environmental</b>			
Overload Limit(Shock)	± 5000 g pk	± 49,050 m/s <sup>2</sup> pk	
Temperature Range	-50 to +180 °F	-45 to +82 °C	
Temperature Response	See Graph	See Graph	
Base Strain Sensitivity	≤ 0.0005 g/με	≤ 0.005 (m/s <sup>2</sup> )/με	[1]
<b>Electrical</b>			<b>NOTES:</b>
Excitation Voltage	18 to 30 VDC	18 to 30 VDC	[1] Typical
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA	[2] Zero-based, least-squares, straight line method.
Output Impedance	<1500 ohm	<1500 ohm	[3] See PCB Declaration of Conformance PS023 for details.
Output Bias Voltage	8 to 12 VDC	8 to 12 VDC	
Discharge Time Constant	≥ 3.5 sec	≥ 3.5 sec	
Settling Time	<60 sec	<60 sec	
Spectral Noise(1 Hz)	1.30 μg/√Hz	12.7 (μm/s <sup>2</sup> )/√Hz	[1]
Spectral Noise(10 Hz)	0.32 μg/√Hz	3.1 (μm/s <sup>2</sup> )/√Hz	[1]
Spectral Noise(100 Hz)	0.13 μg/√Hz	1.3 (μm/s <sup>2</sup> )/√Hz	[1]
Spectral Noise(1 kHz)	0.10 μg/√Hz	1.0 (μm/s <sup>2</sup> )/√Hz	[1]
Electrical Isolation(Case)	≥ 10 <sup>8</sup> ohm	≥ 10 <sup>8</sup> ohm	
<b>Physical</b>			<b>SUPPLIED ACCESSORIES:</b>
Sensing Element	Ceramic	Ceramic	Model 081B20 Mounting Stud, with shoulder (1/4-28 to 1/4-28) (1)
Sensing Geometry	Shear	Shear	Model 086A31 Protective Thermal Jacket (1)
Housing Material	Stainless Steel	Stainless Steel	Model ACS-1 NIST traceable frequency response (10 Hz to upper 5% point). (1)
Sealing	Hermetic	Hermetic	Model ACS-4 Single-axis, low frequency phase and amplitude response calibration. (1)
Size (Hex x Height)	1 3/16 in x 2 3/16 in	30.2 mm x 55.6 mm	Model M081B20 Mounting Stud 1/4-28 to M6 X 0.75 (1)
Weight	7.4 oz	210 gm	
Electrical Connector	2-Pin MIL-C-5015	2-Pin MIL-C-5015	
Electrical Connection Position	Top	Top	
Mounting Thread	1/4-28 Female	1/4-28 Female	
Mounting Torque	2 to 5 ft-lb	2.7 to 6.8 N-m	
<b>CE</b> [3]			Entered: <i>[Signature]</i> Engineer: <i>[Signature]</i> Sales: <i>[Signature]</i> Approved: <i>[Signature]</i> Spec Number: Date: 2-21-07 Date: 2/23/07 Date: 2/23/07 Date: 2/23/07 393-2120-80
All specifications are at room temperature unless otherwise specified. In the interest of constant product improvement, we reserve the right to change specifications without notice. ICP® is a registered trademark of PCB Group, Inc.			<b>PCB PIEZOTRONICS™</b> VIBRATION DIVISION 3425 Walden Avenue, Depew, NY 14043 Phone: 716-684-0001 Fax: 716-685-3886 E-Mail: vibration@pcb.com

▪ Banchi di alimentazione dei sensori

Per l'alimentazione dei sensori sono stati utilizzati banchi dedicati del sistema Quantum X di HBM interni o esterni al condizionatore di segnale.

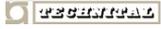
▪ Filtri anti-aliasing

Filtri anti-aliasing impostati per gli accelerometri a 100 Hz per una frequenza di campionamento impostata al valore di 200 Hz.

**3.1.2 Rilievi eseguiti e risultati ottenuti**

Sono complessivamente stati eseguiti n. 10 rilievi vibrazionali in corrispondenza di altrettante postazioni di misura come previsto nel programma di misure di caratterizzazione dello stato di fatto.

Di seguito vengono sinteticamente illustrati i risultati ottenuti riportando nell'ordine la Time History, l'andamento del valore RMS e l'andamento della trasformata di Fourier con la riproduzione dello spettro in frequenza.

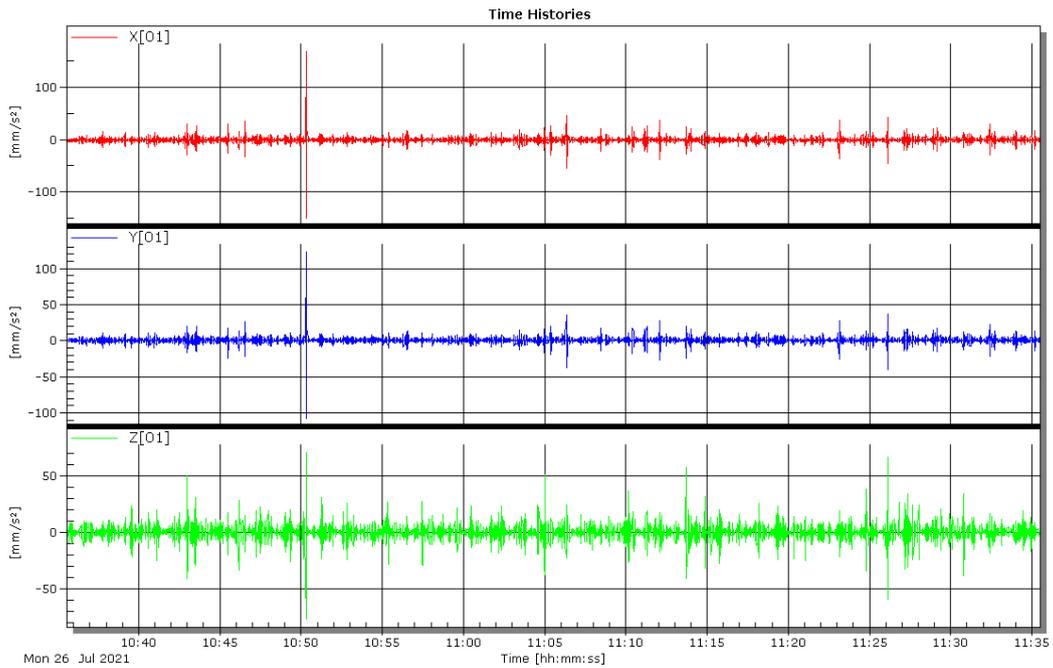


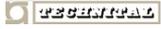
PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	10 di 62

3.1.2.1 Punto V1

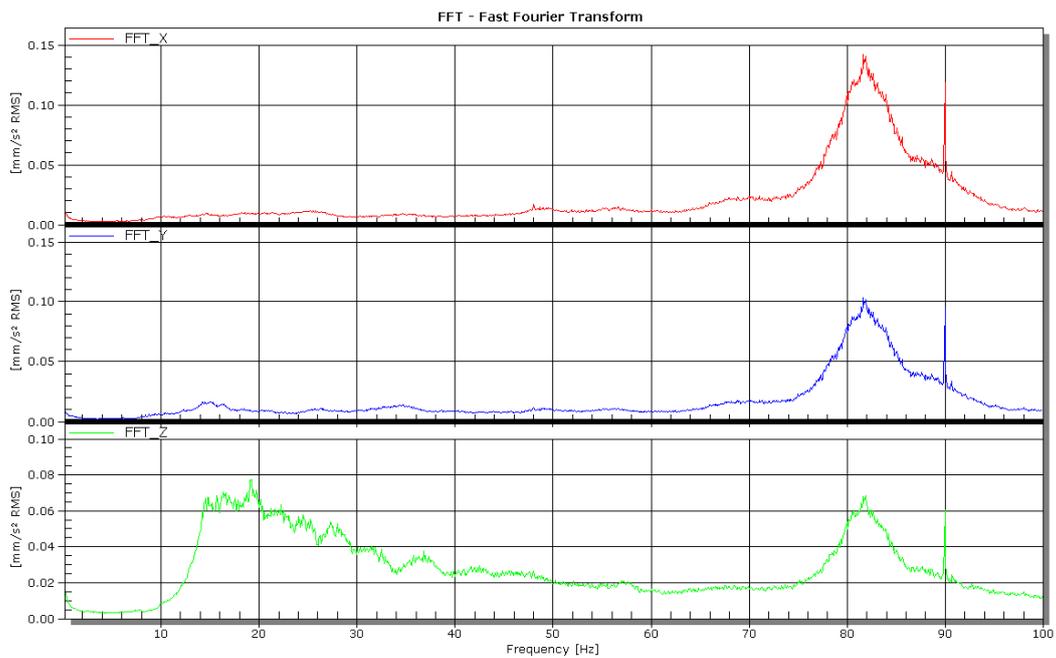
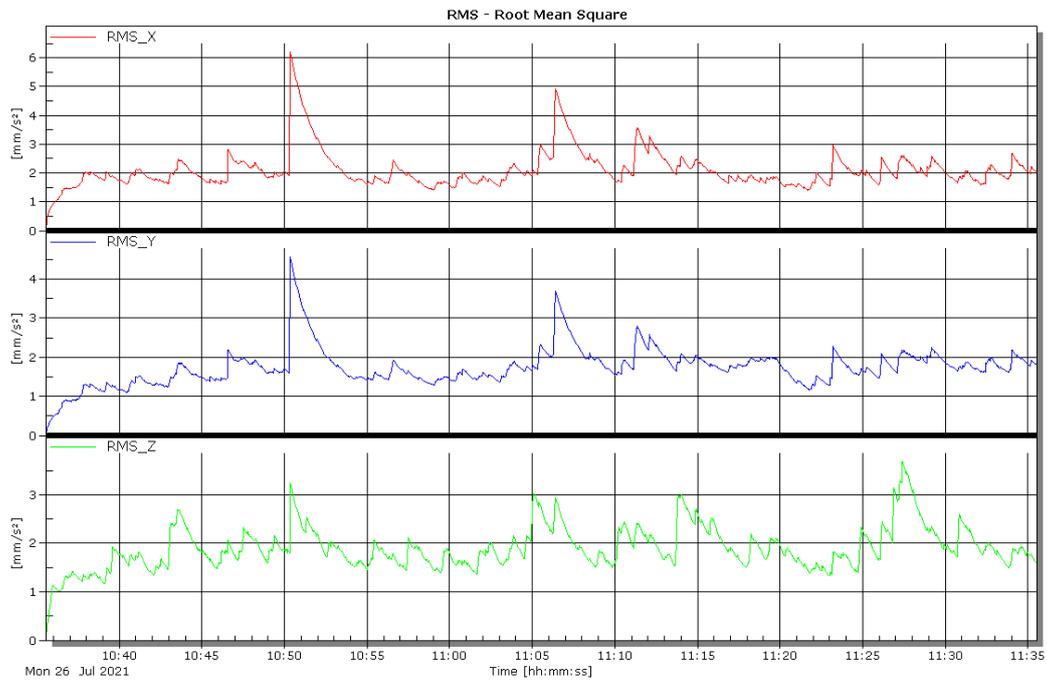




PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

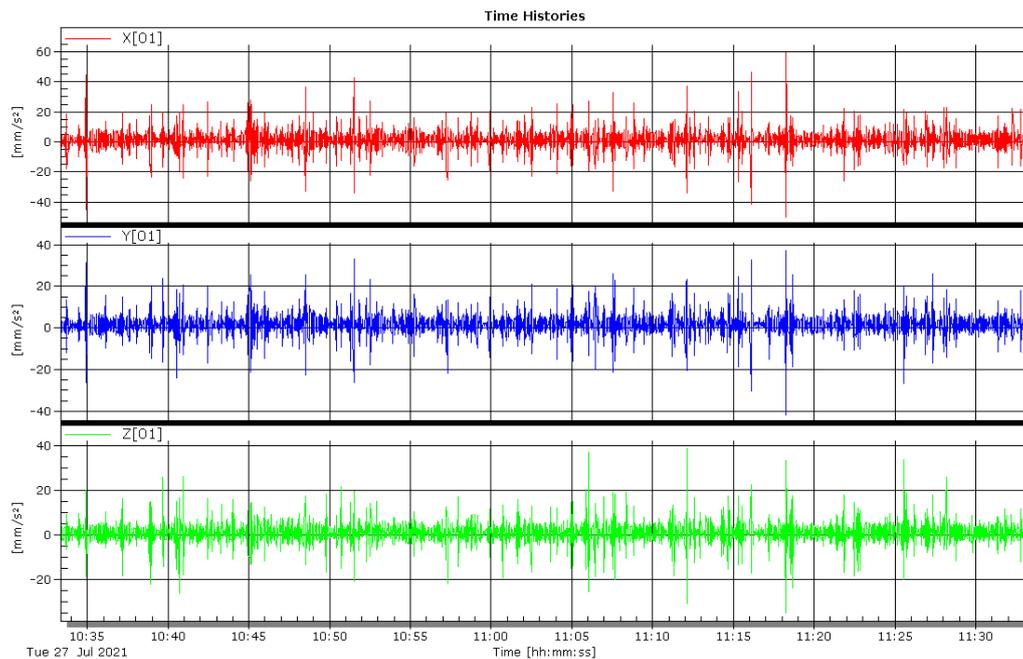
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	11 di 62

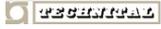


RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	12 di 62

3.1.2.2 Punto V2

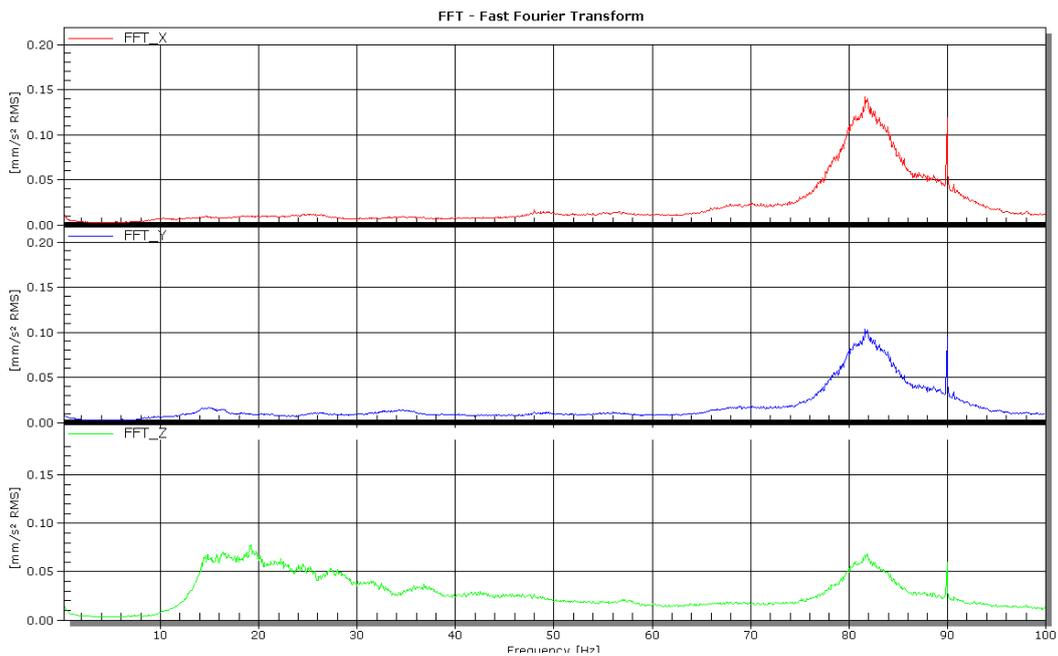
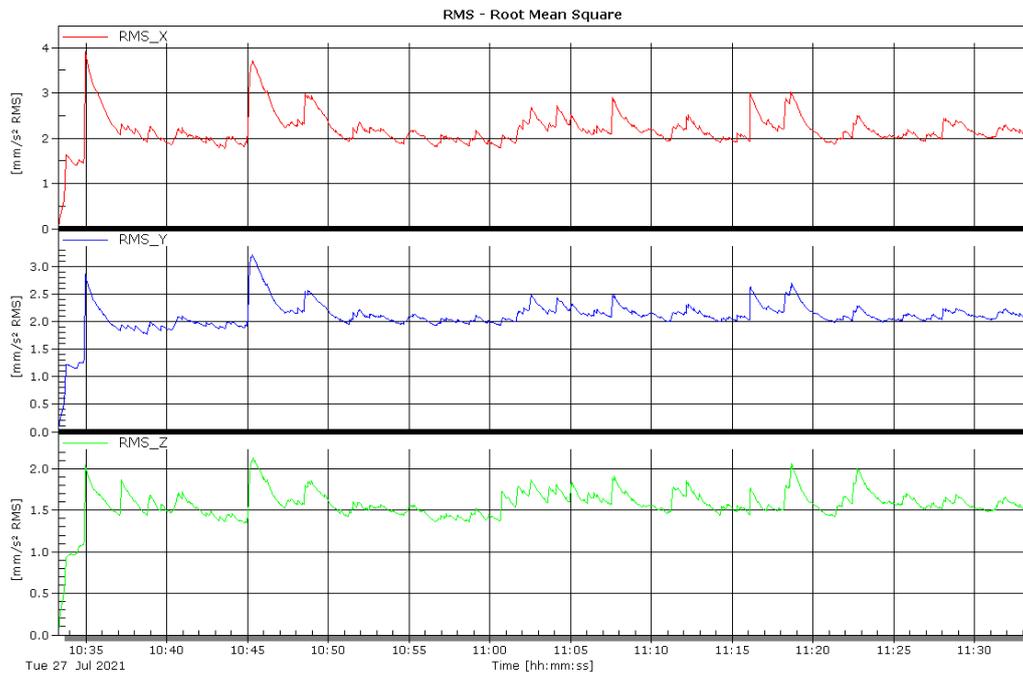




PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

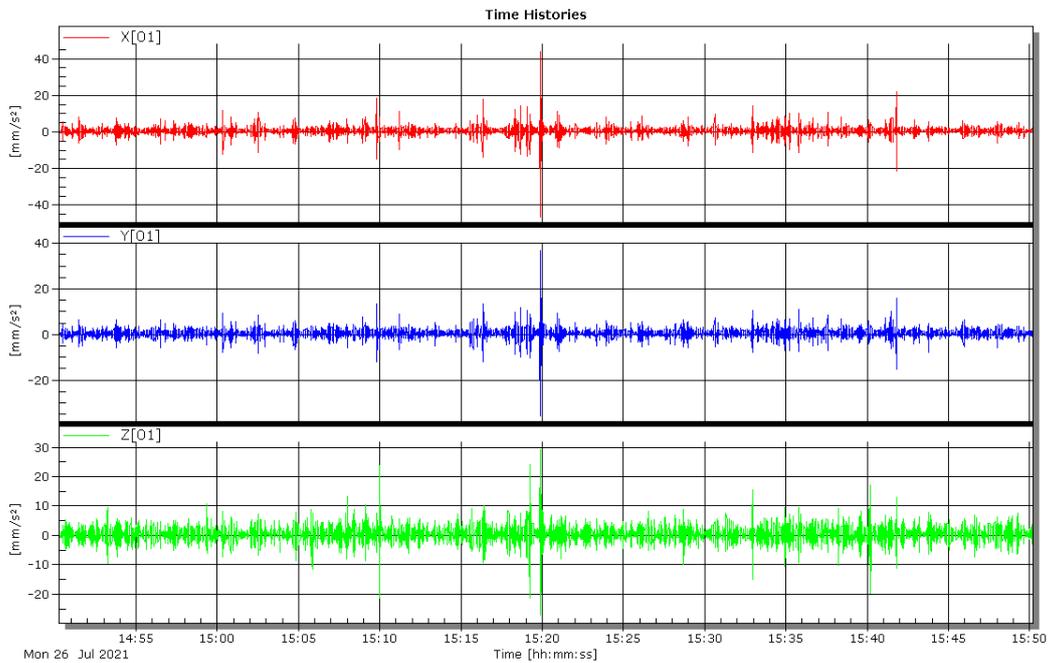
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	13 di 62

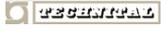


RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	14 di 62

3.1.2.3 Punto V3

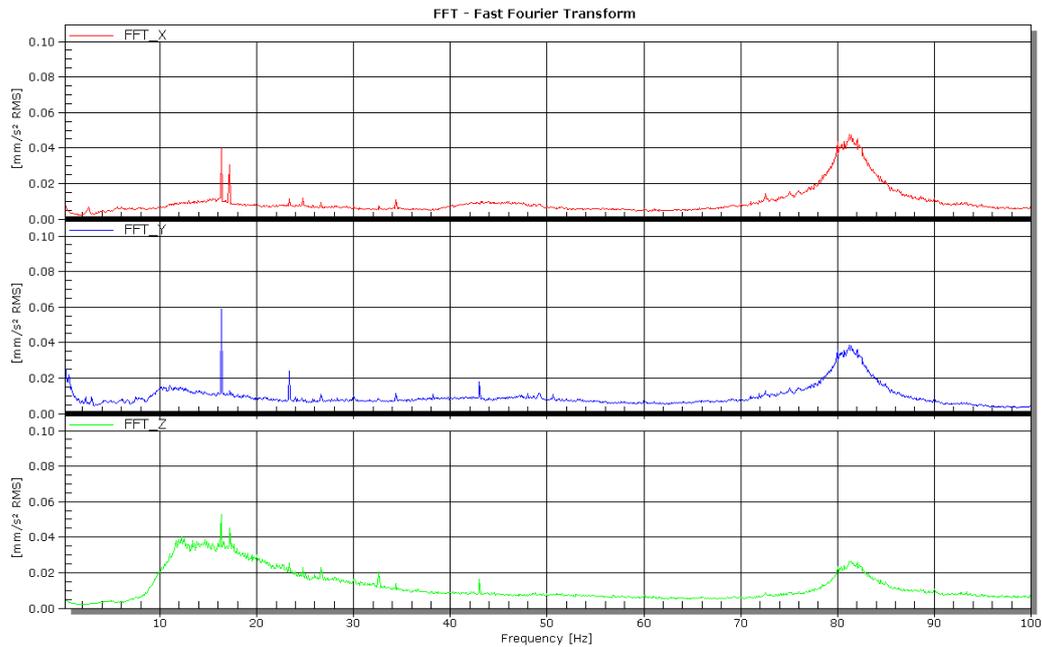
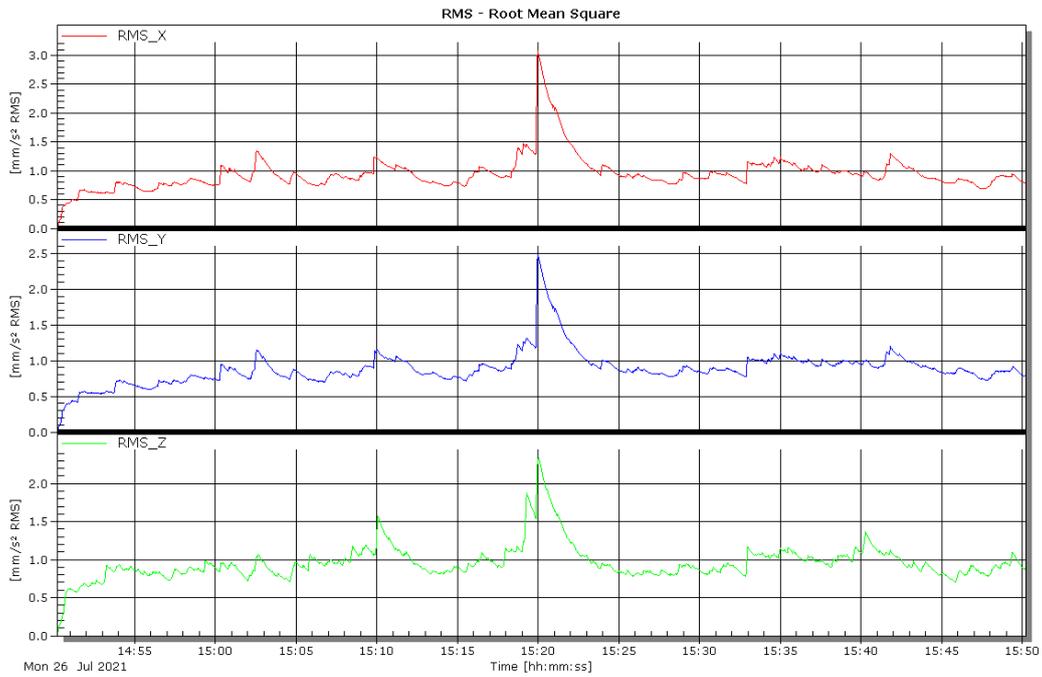




**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)**

**RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE**

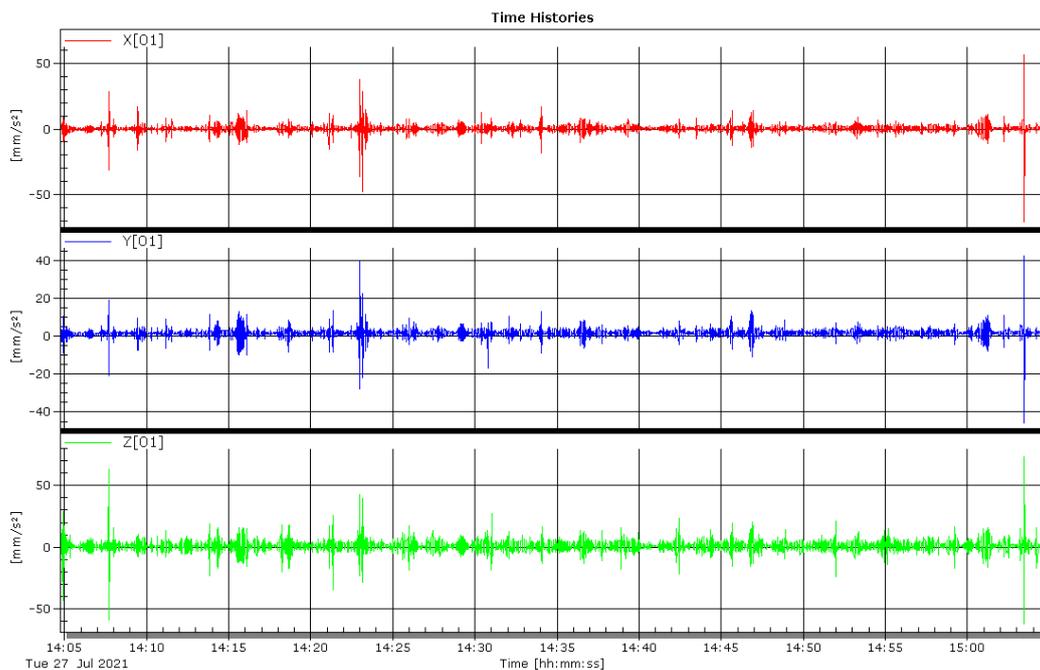
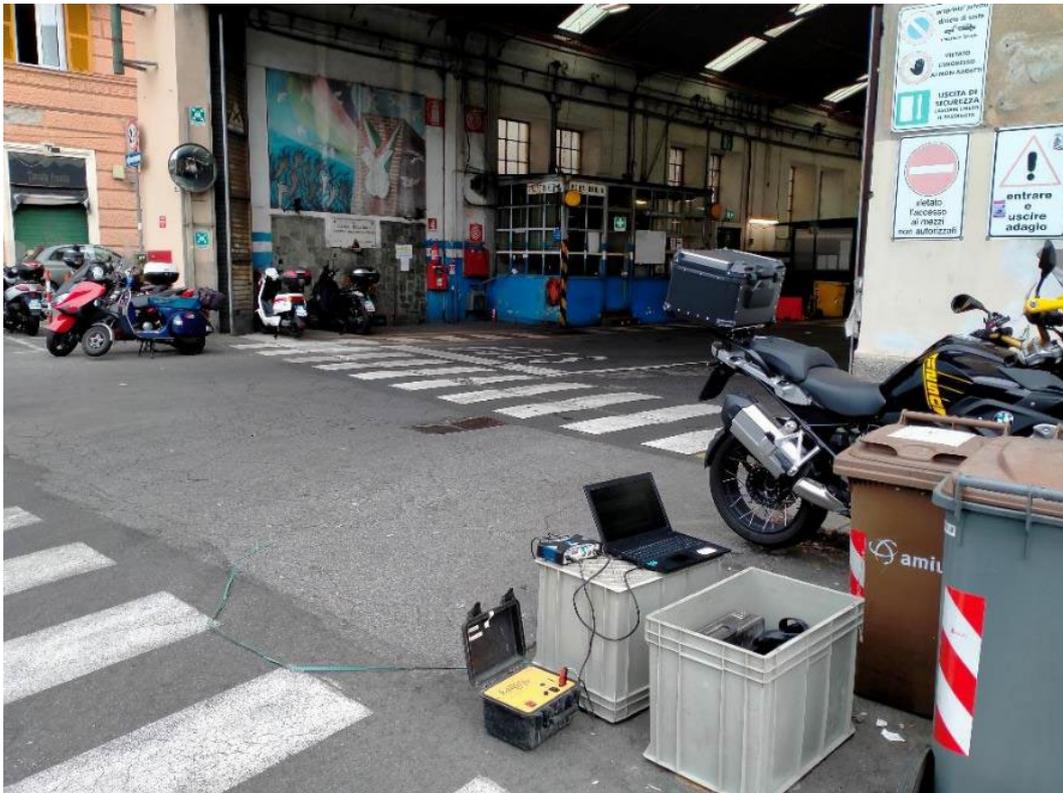
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	15 di 62

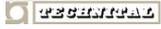


RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	16 di 62

3.1.2.4 Punto V4

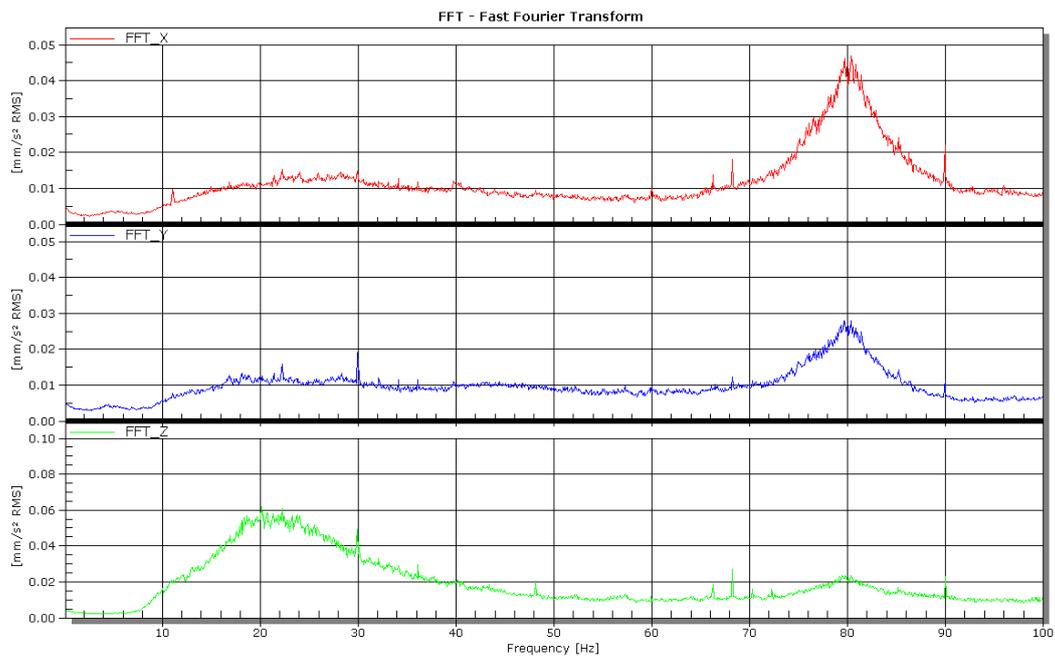
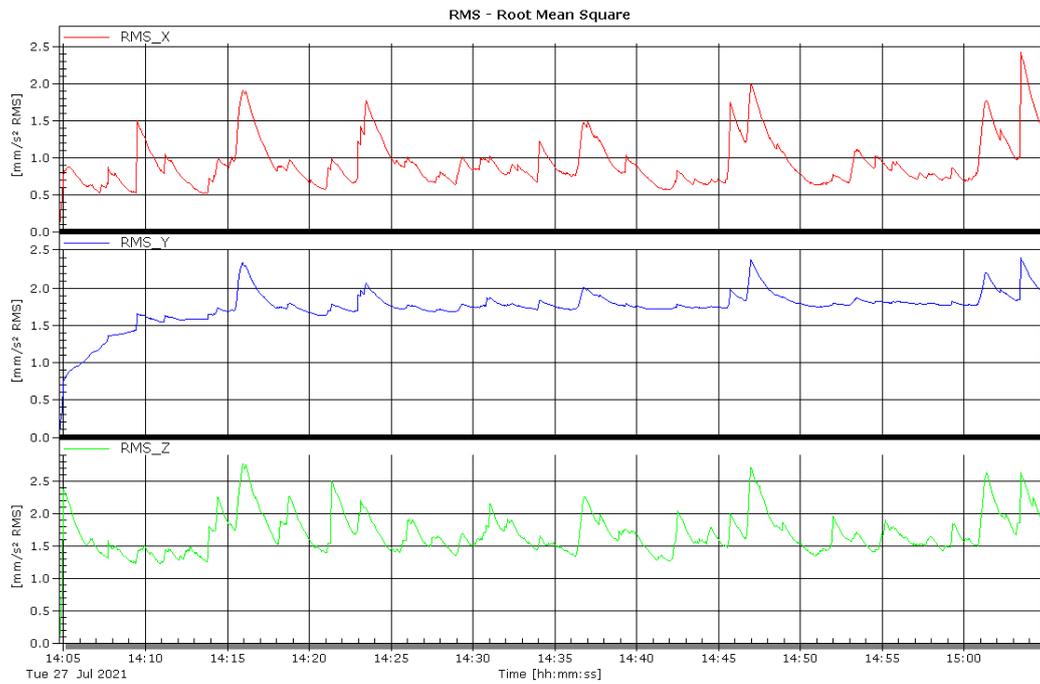


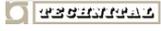


**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)**

**RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	17 di 62



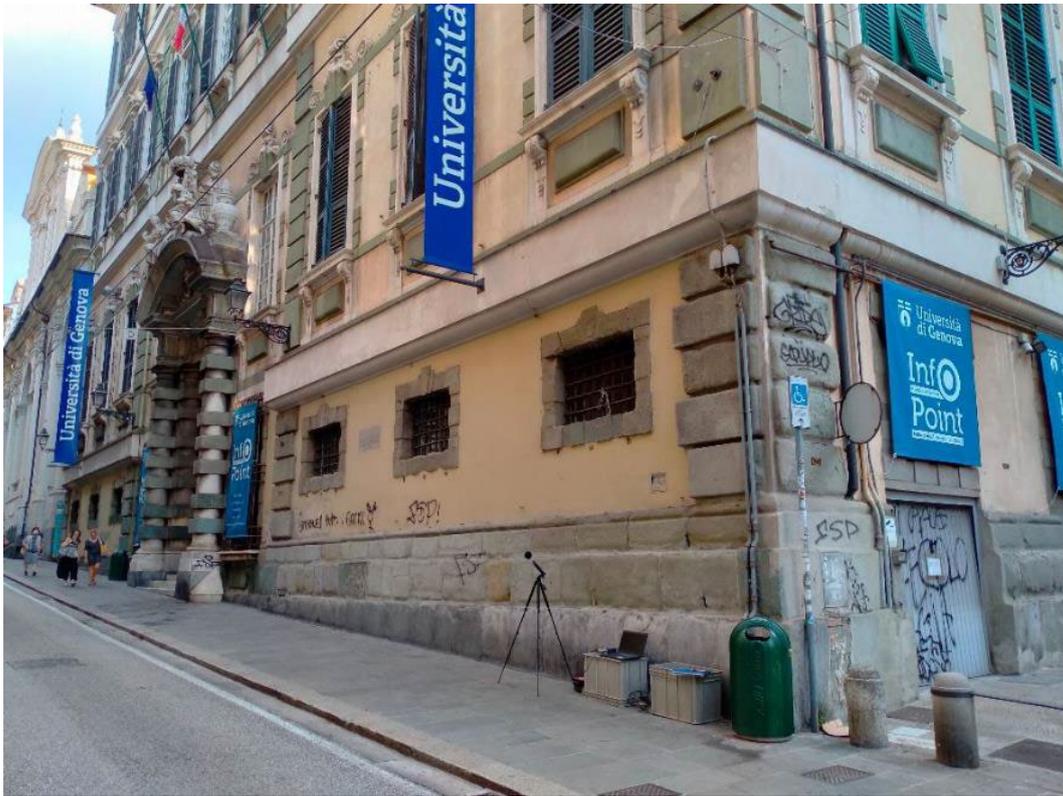


**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)**

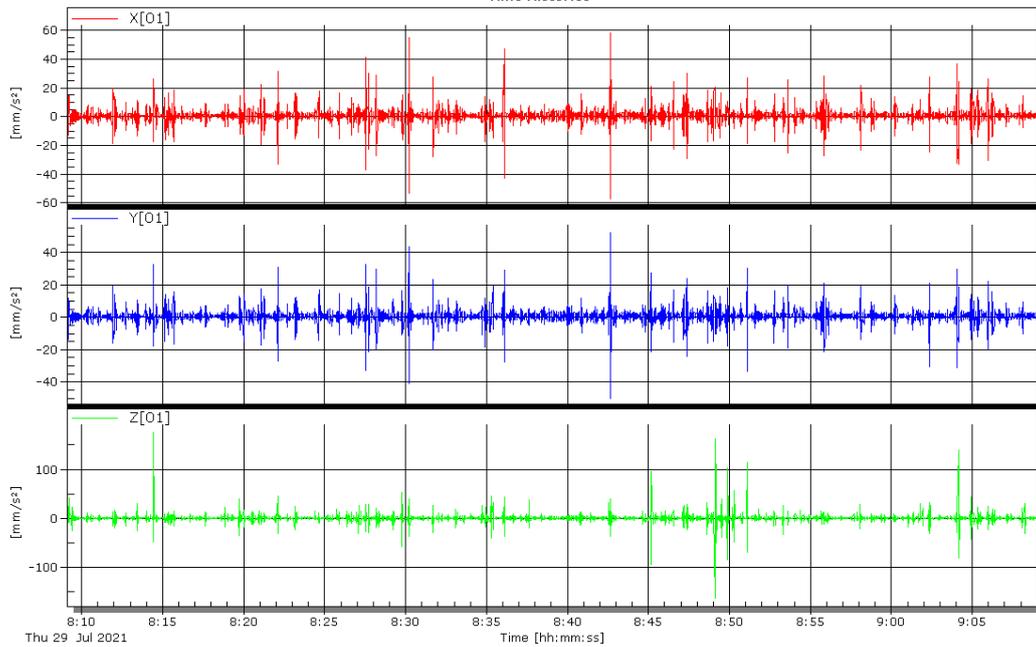
**RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE**

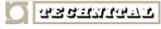
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	18 di 62

**3.1.2.5 Punto V5**



Time Histories

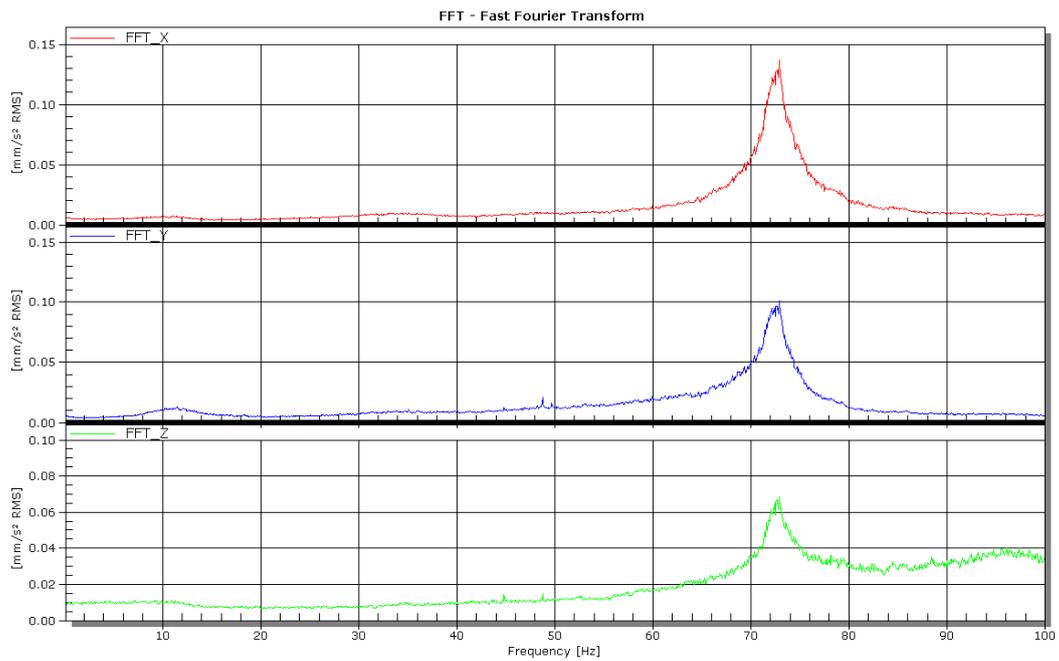
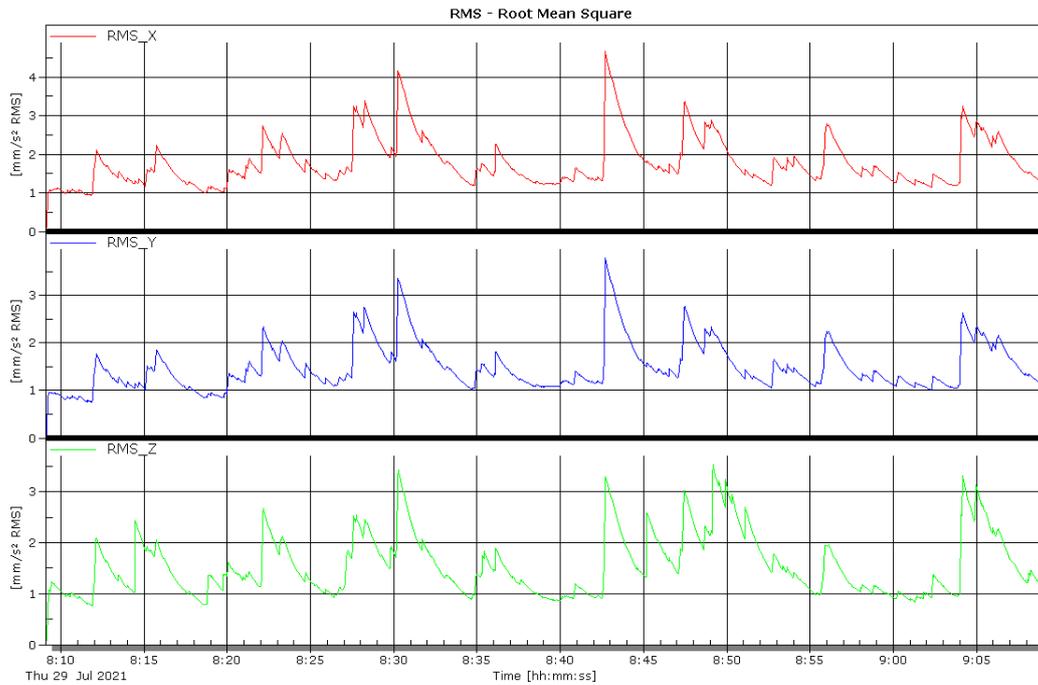


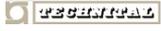


**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)**

**RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	19 di 62



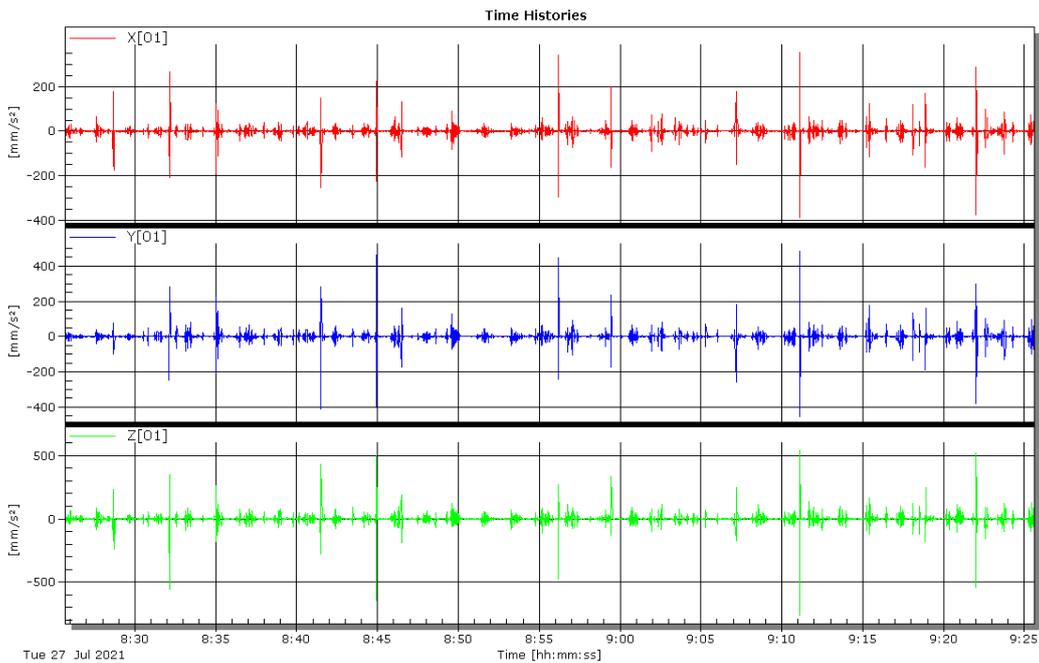


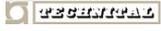
**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)**

**RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	20 di 62

3.1.2.6 Punto V6

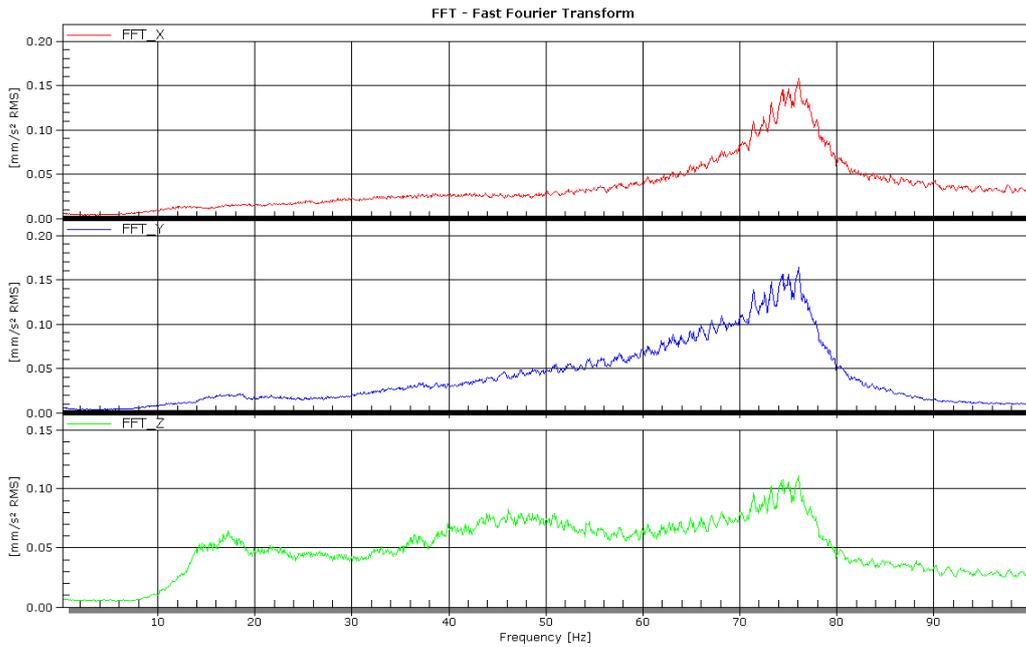
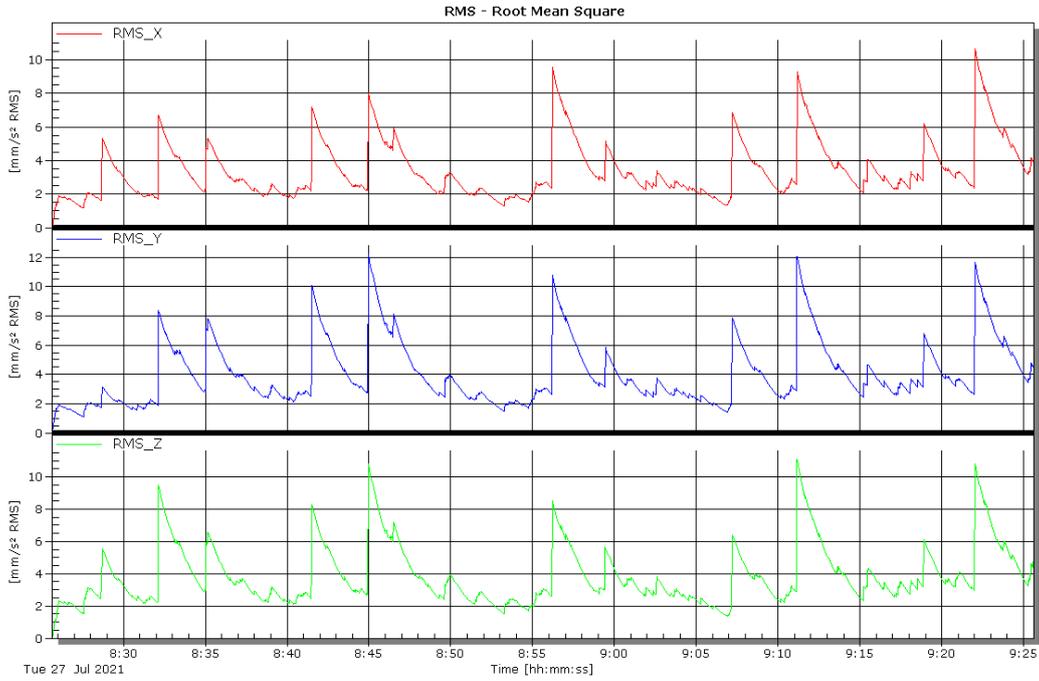




**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)**

**RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE**

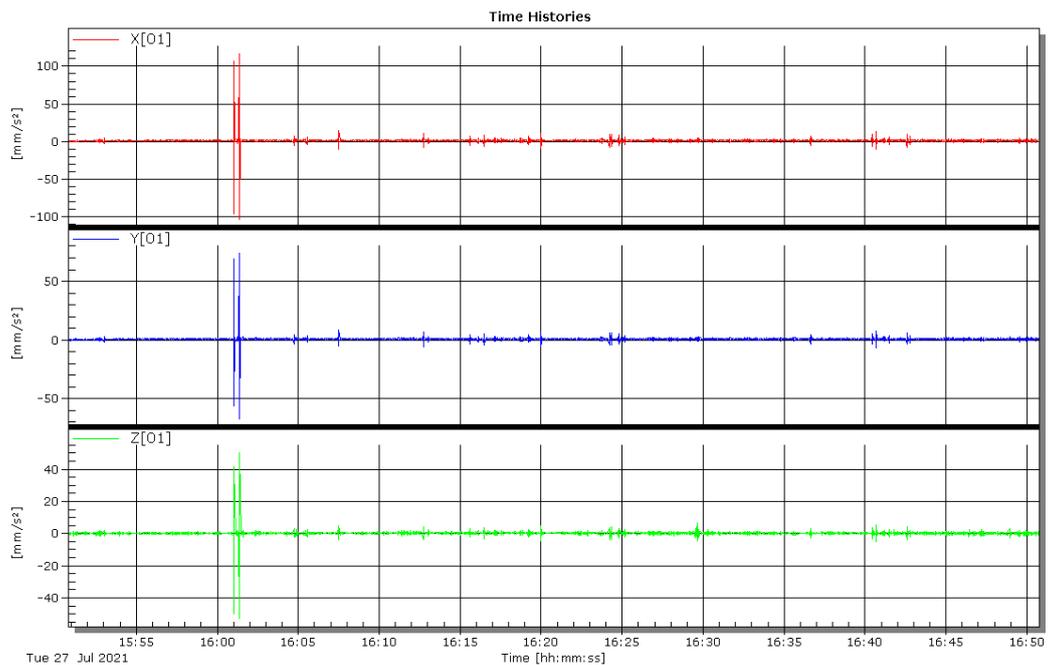
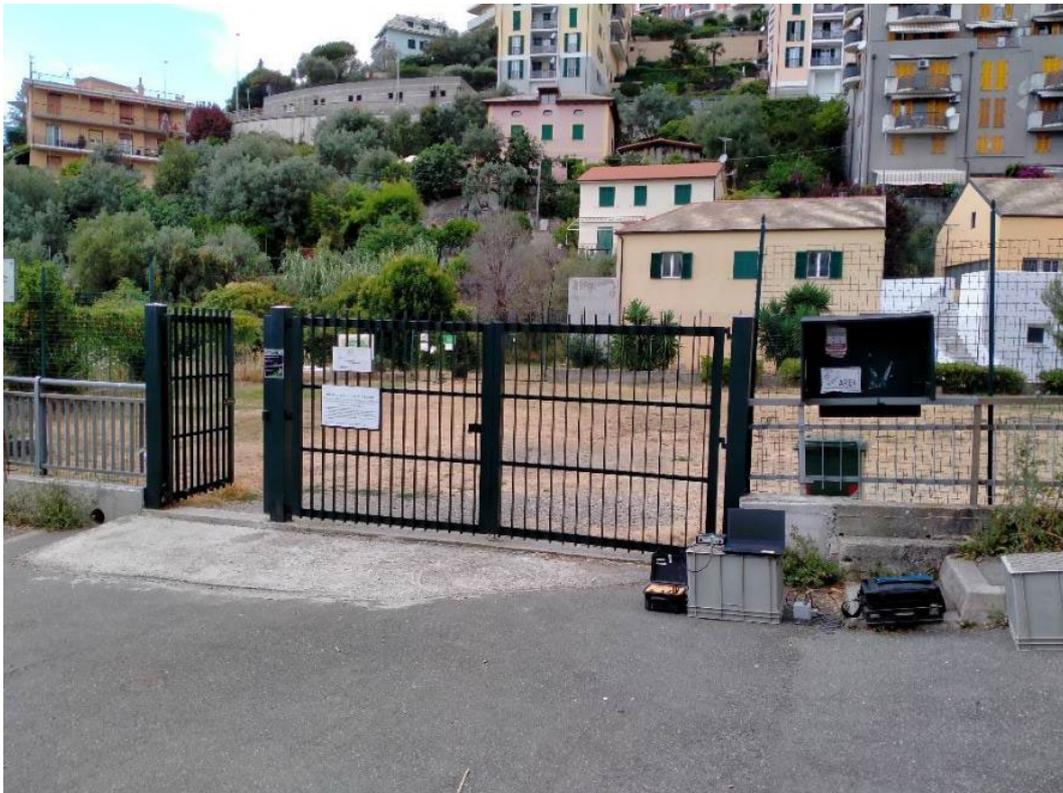
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	21 di 62

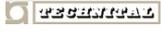


RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	22 di 62

3.1.2.7 Punto V7

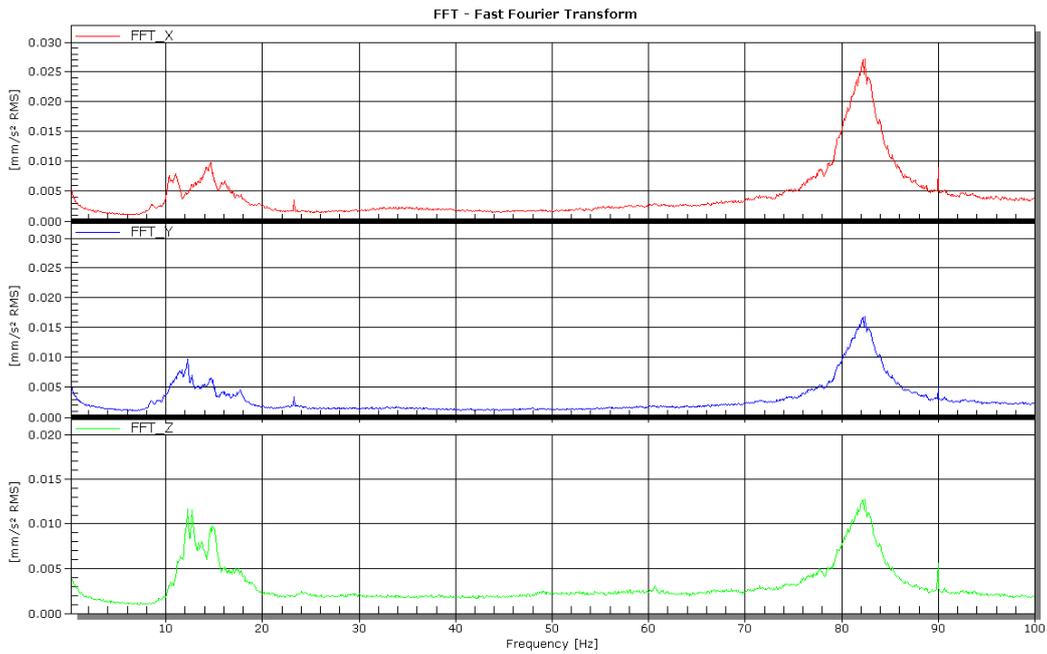
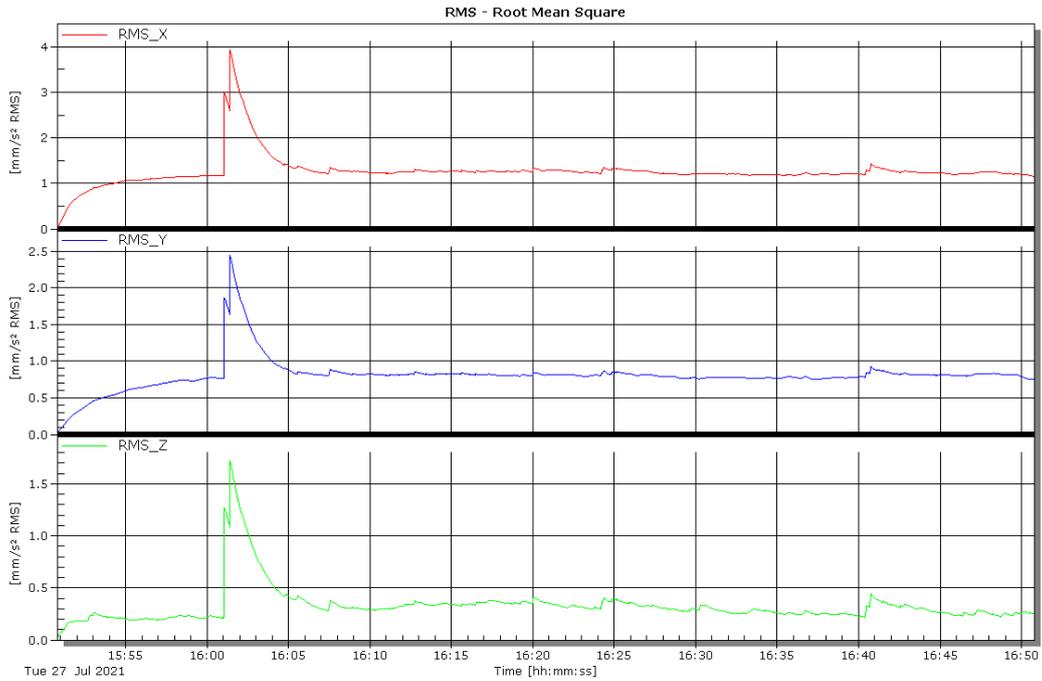




PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

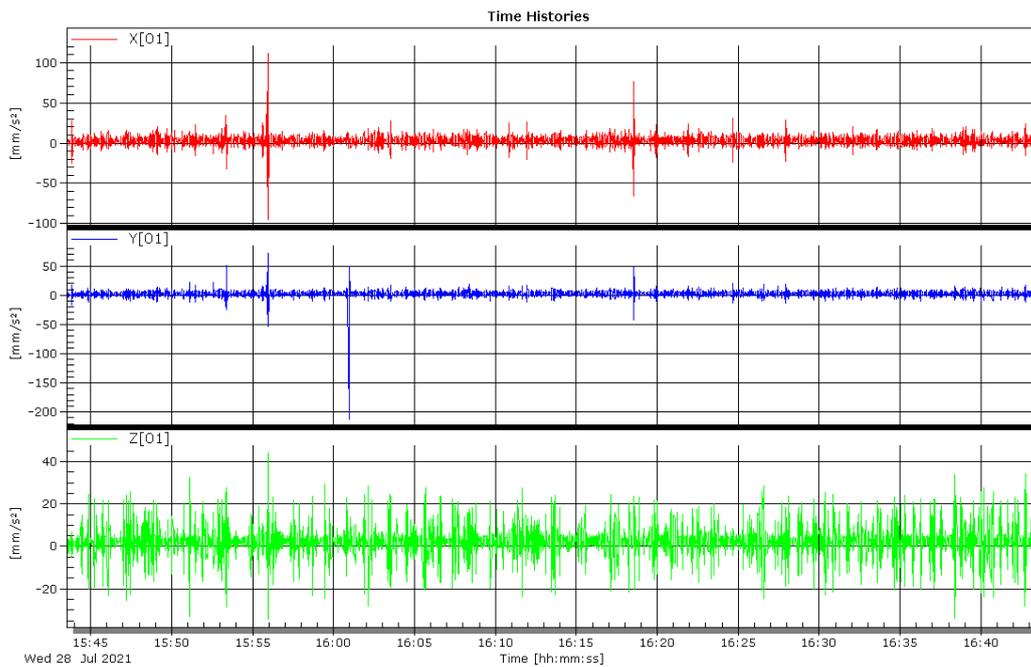
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	23 di 62

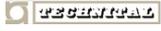


RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	24 di 62

3.1.2.8 Punto V8

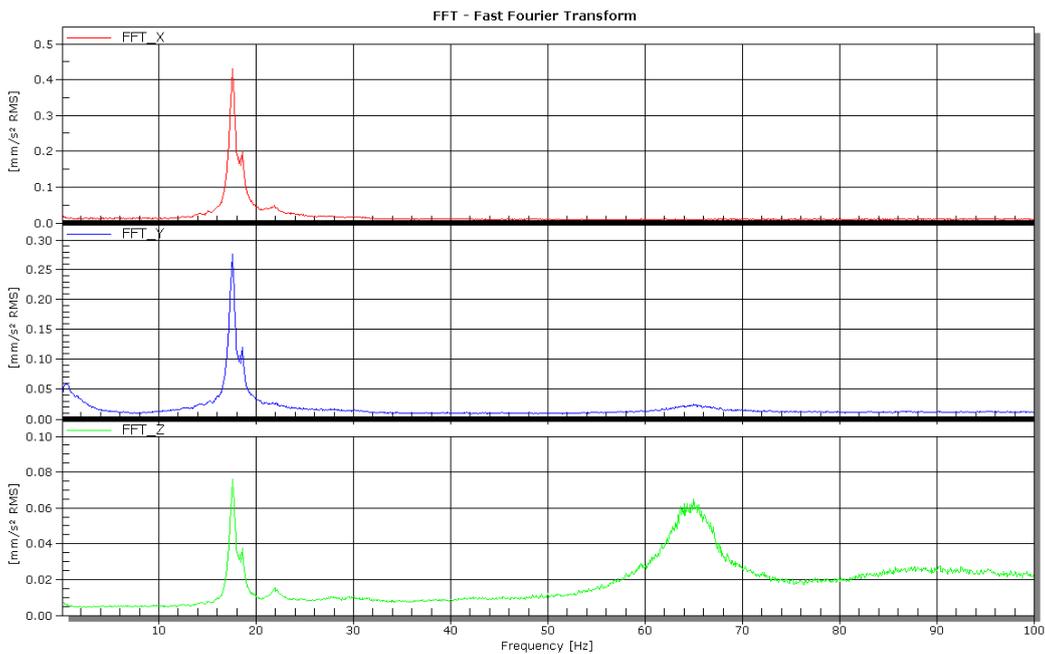
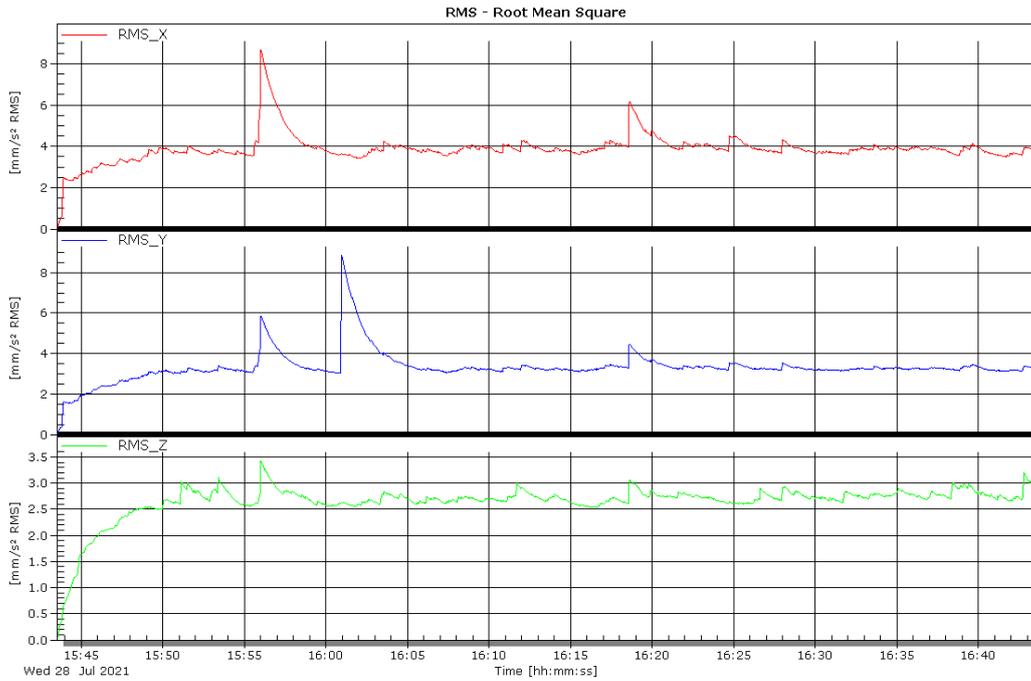




**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)**

**RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE**

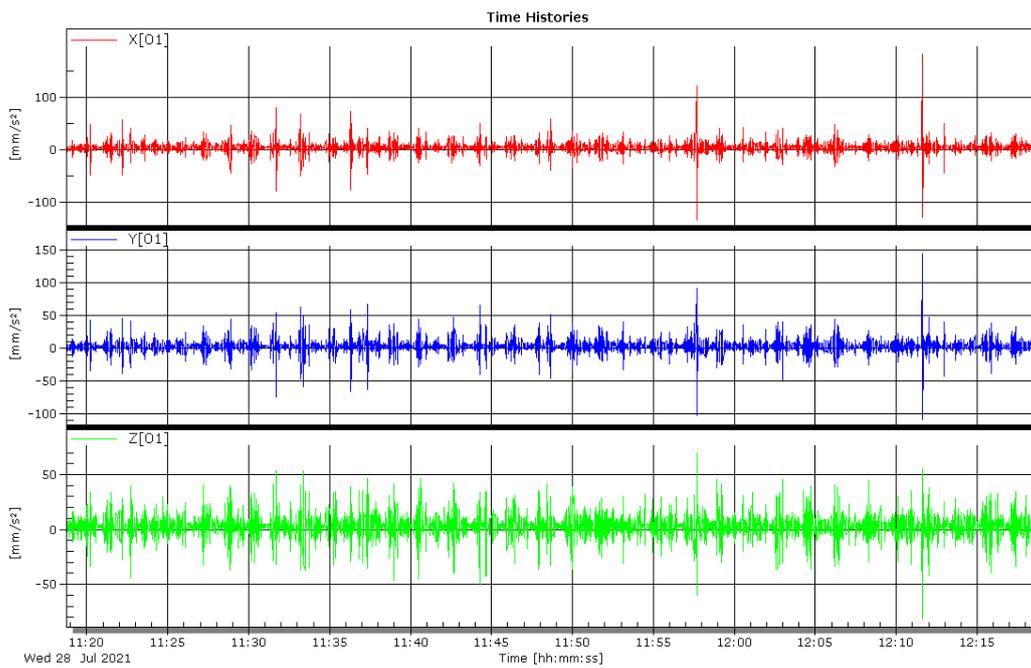
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	25 di 62

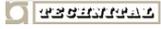


RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	26 di 62

3.1.2.9 Punto V9

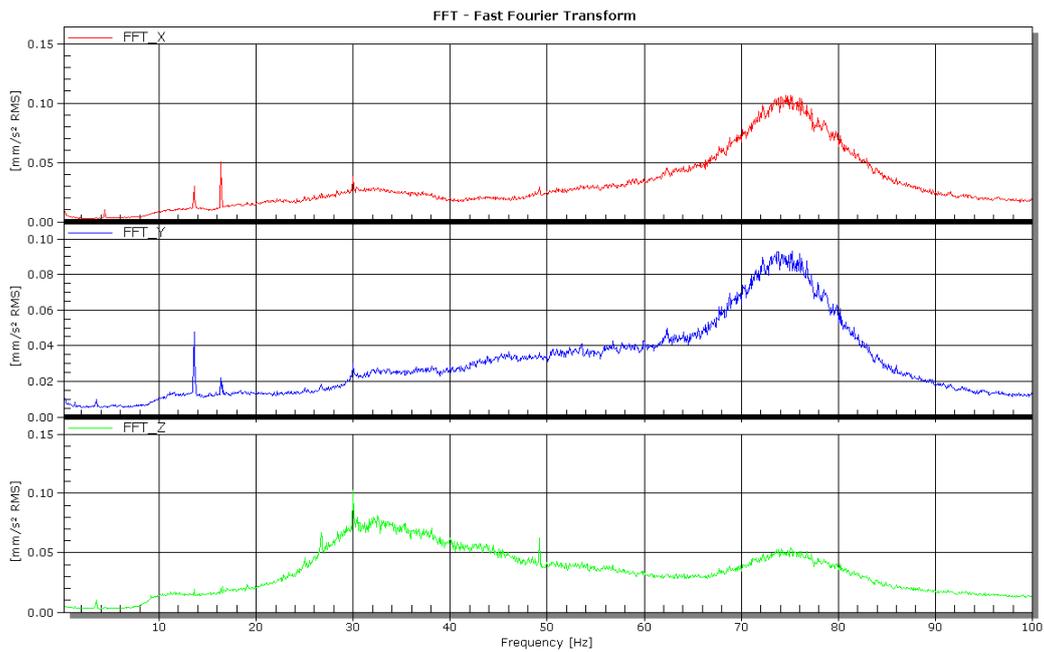
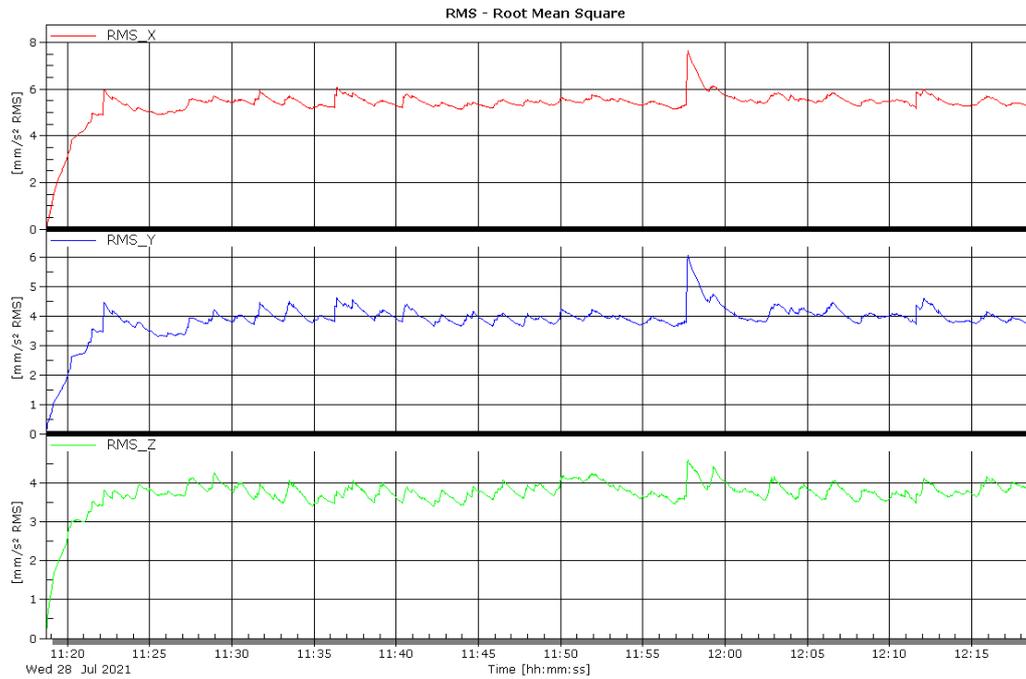


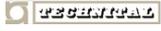


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	27 di 62



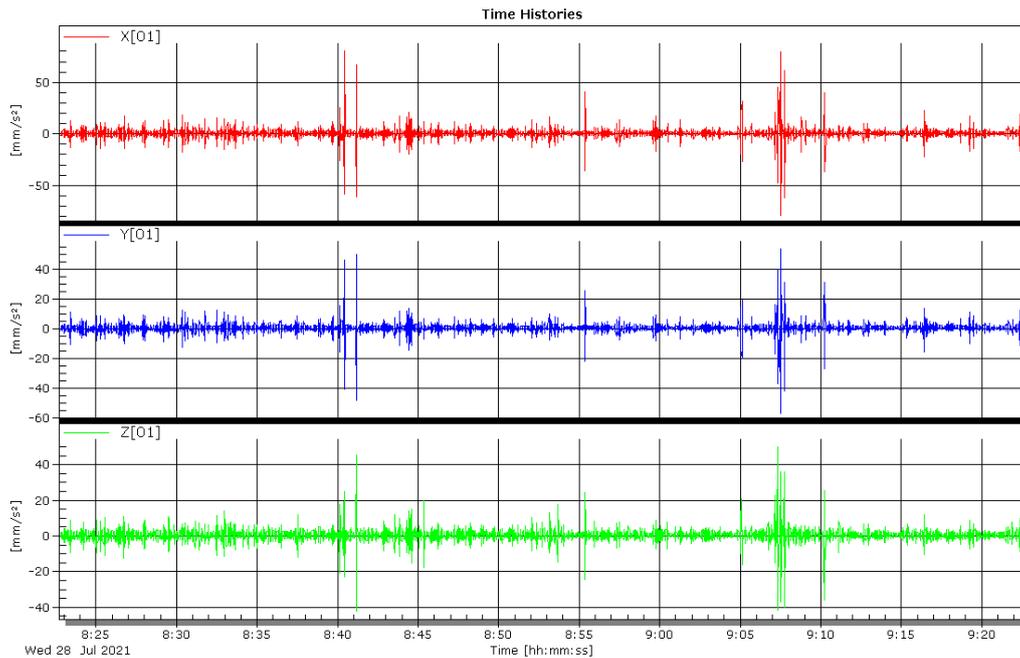
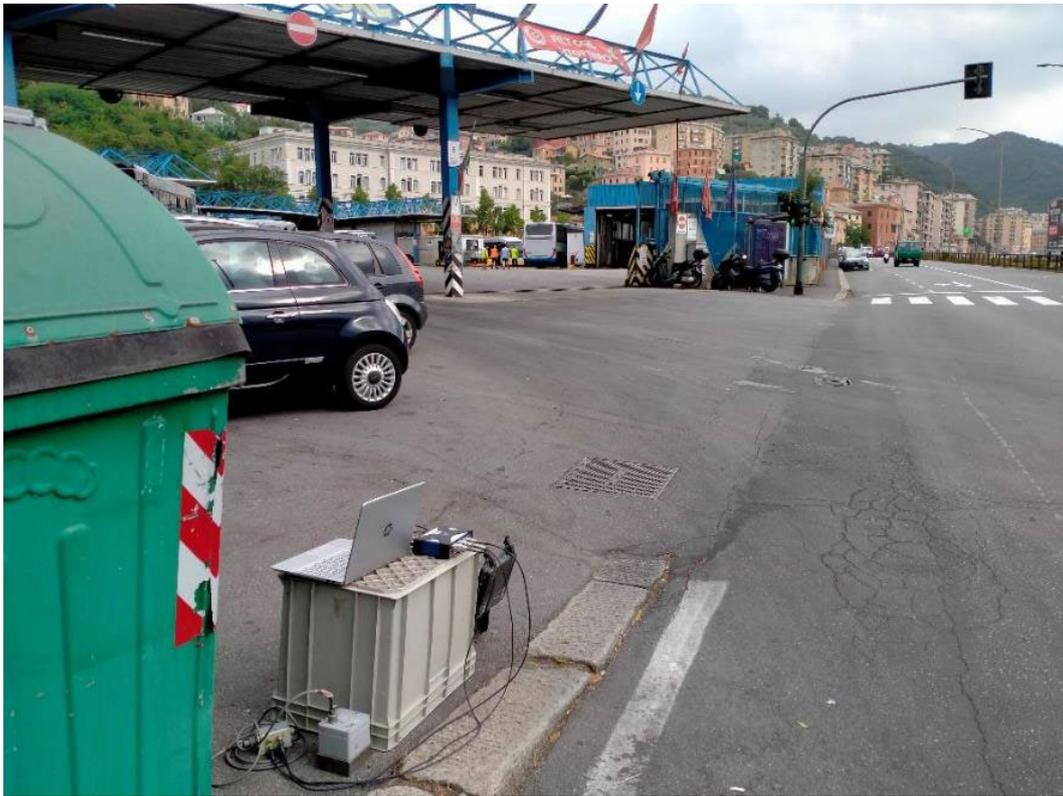


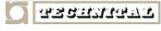
**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)**

**RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	28 di 62

**3.1.2.10 Punto V10**

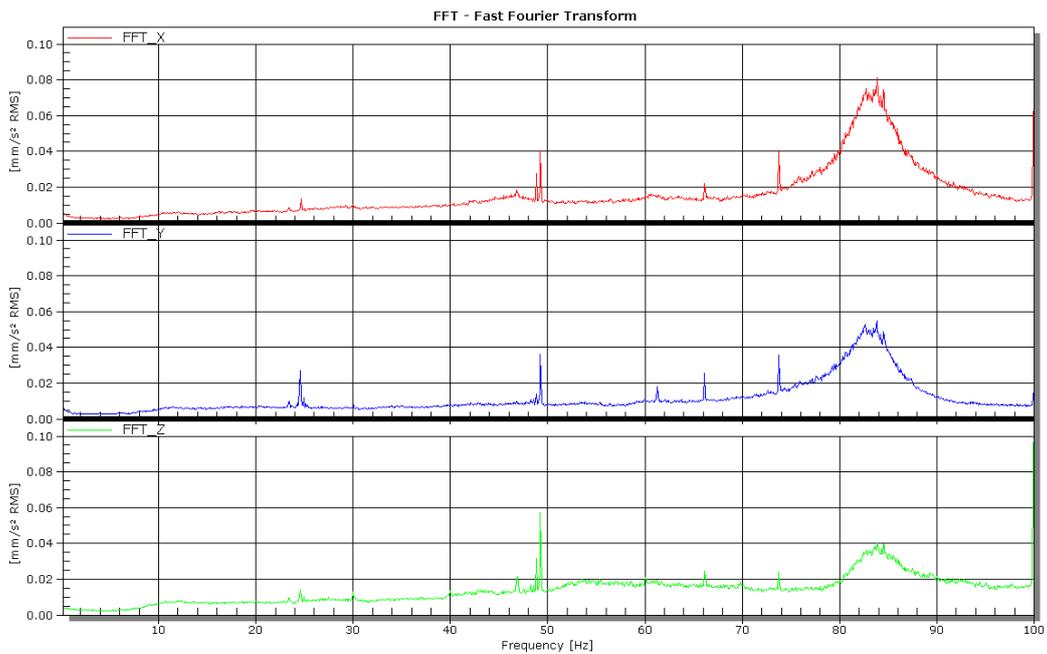
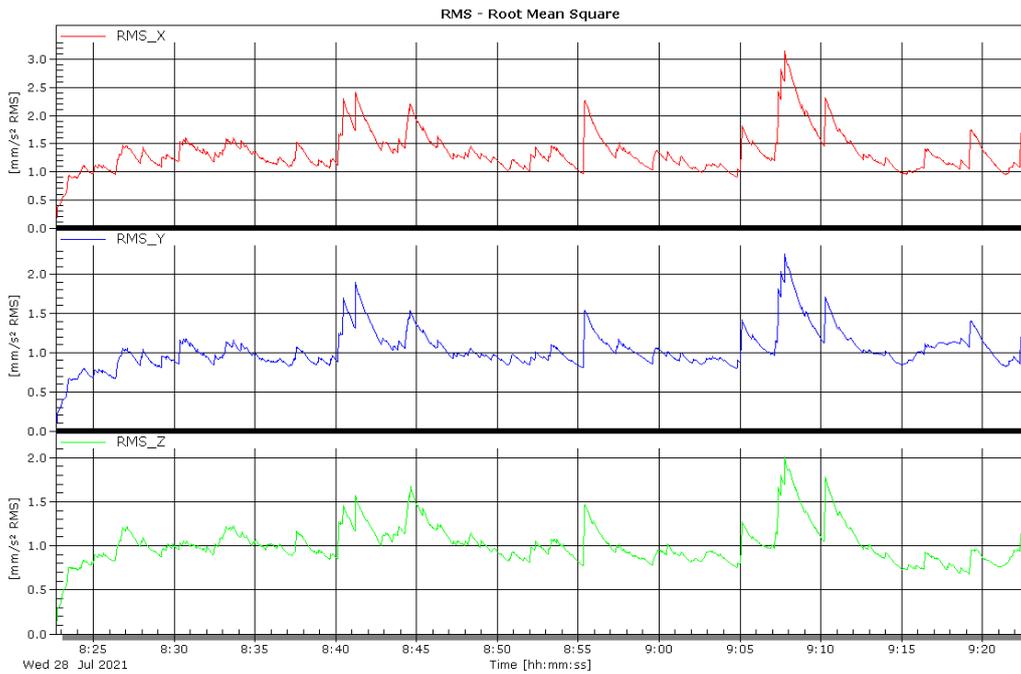


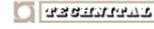


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	29 di 62



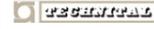


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	30 di 62

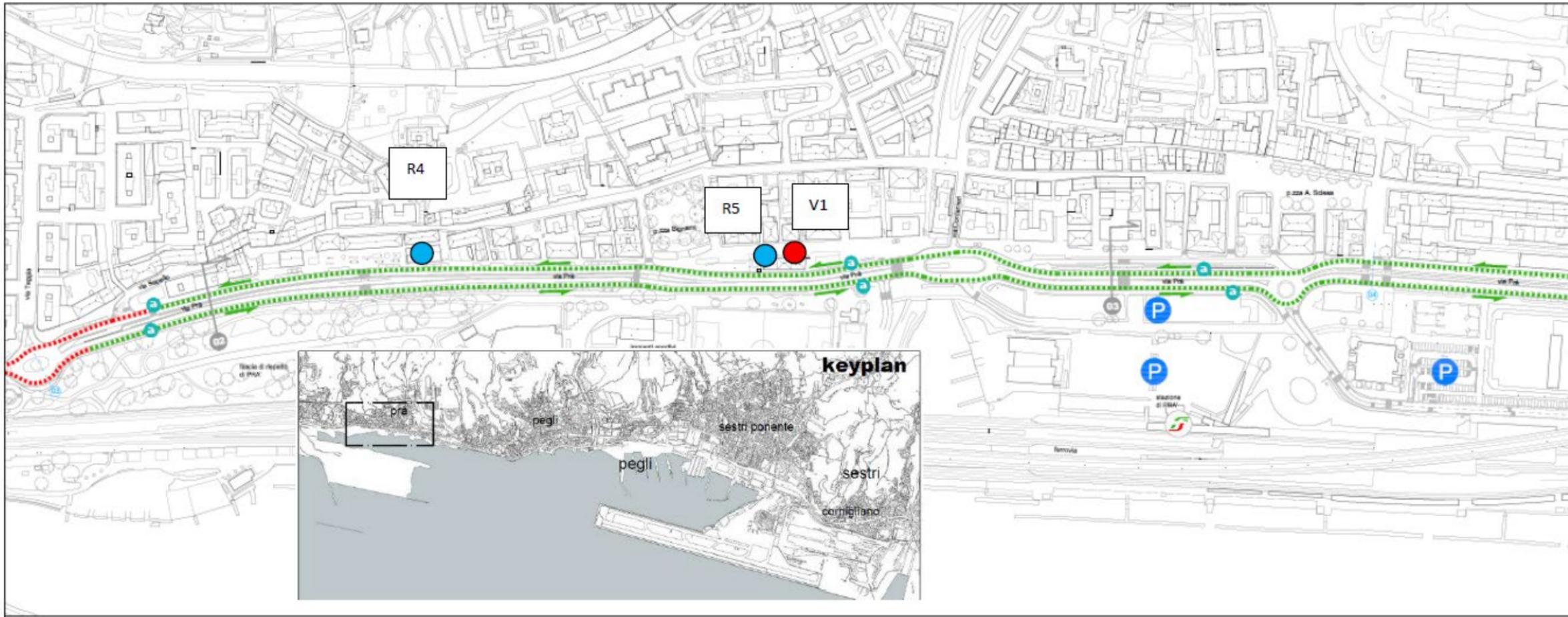


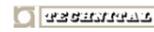


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	31 di 62





PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	32 di 62

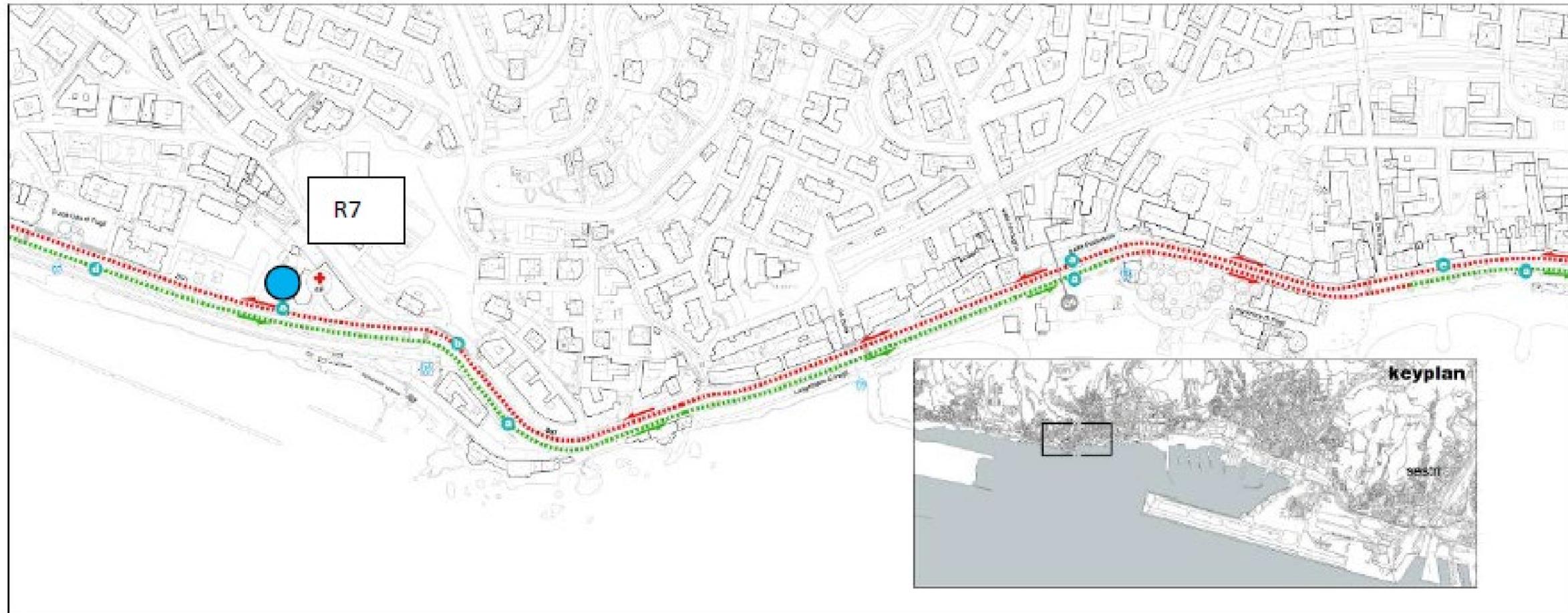


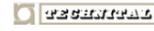


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	33 di 62

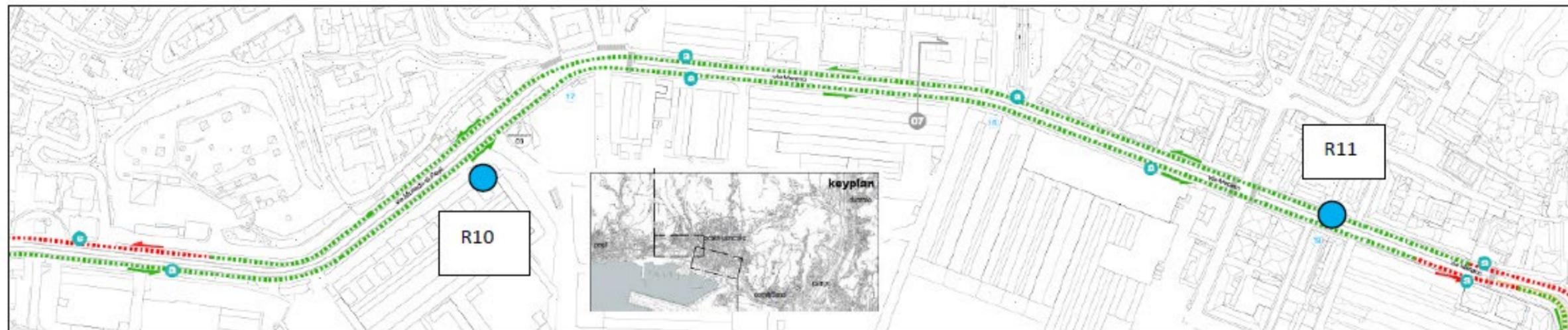
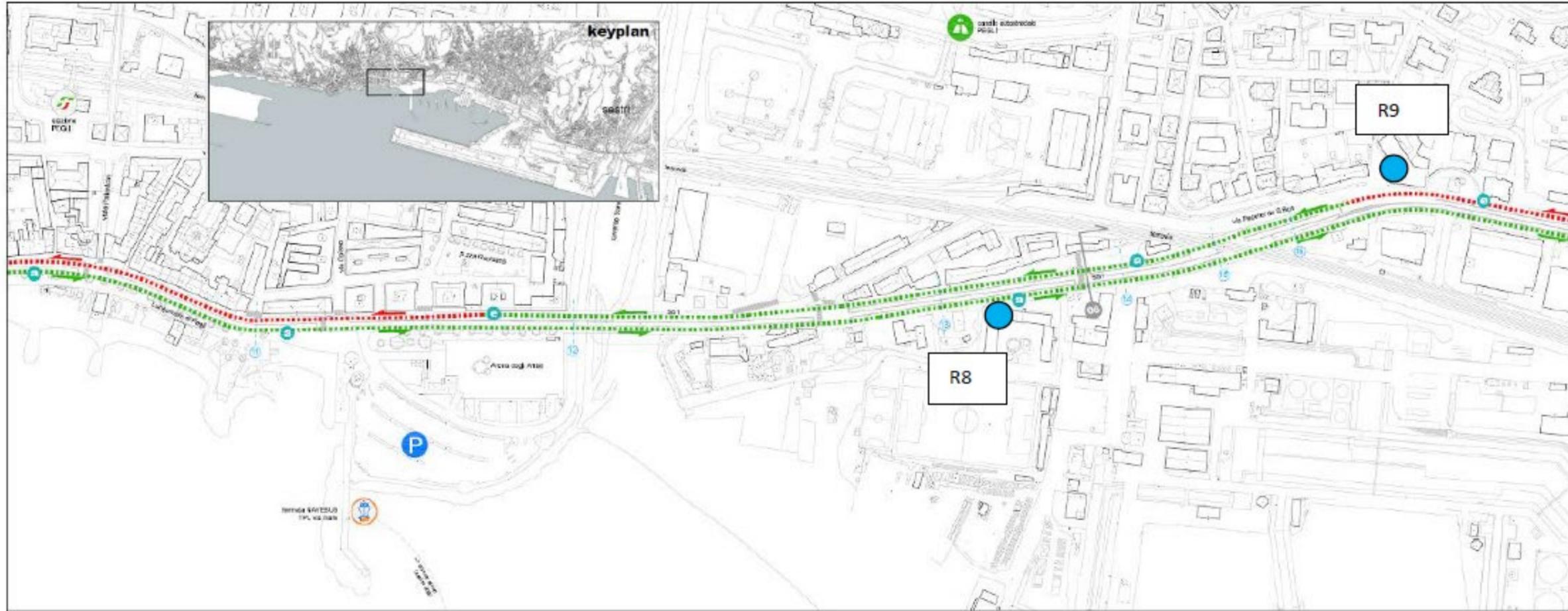


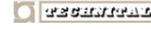


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	34 di 62

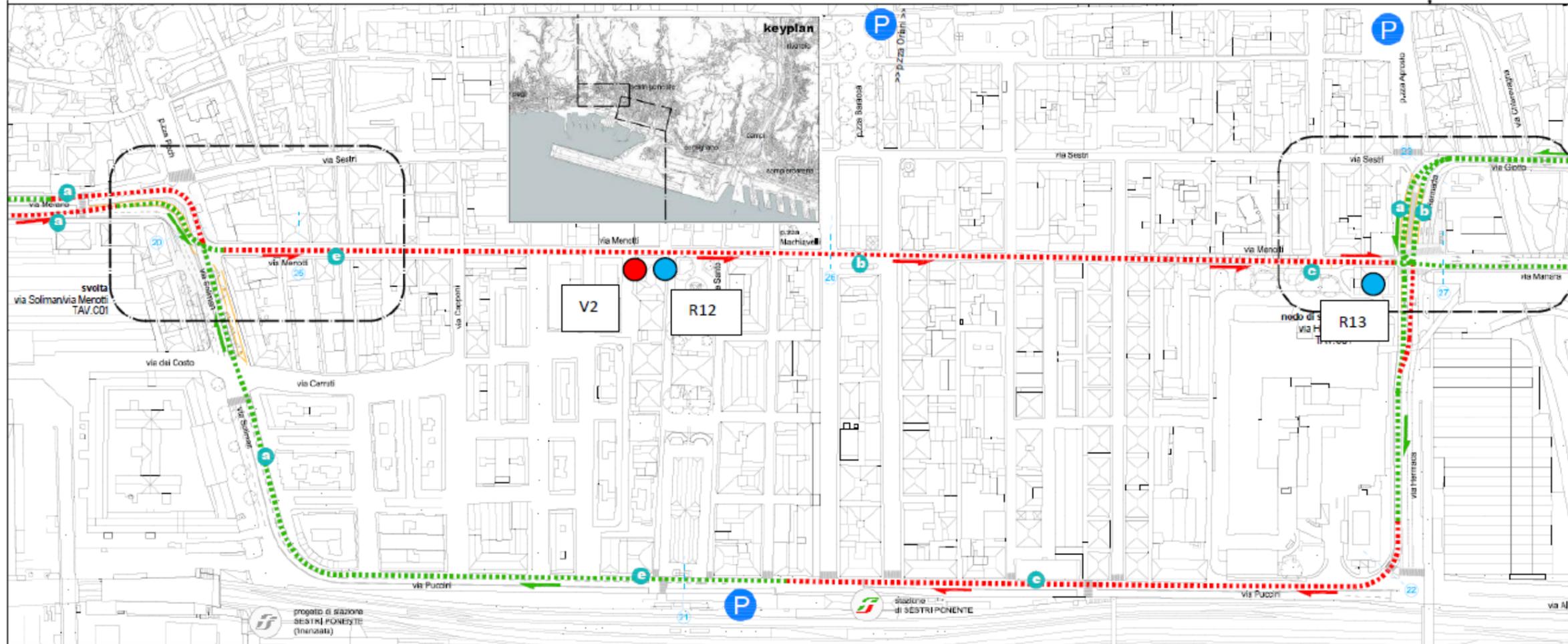


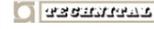


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL  
TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE  
CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	35 di 62



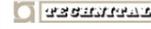


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	36 di 62

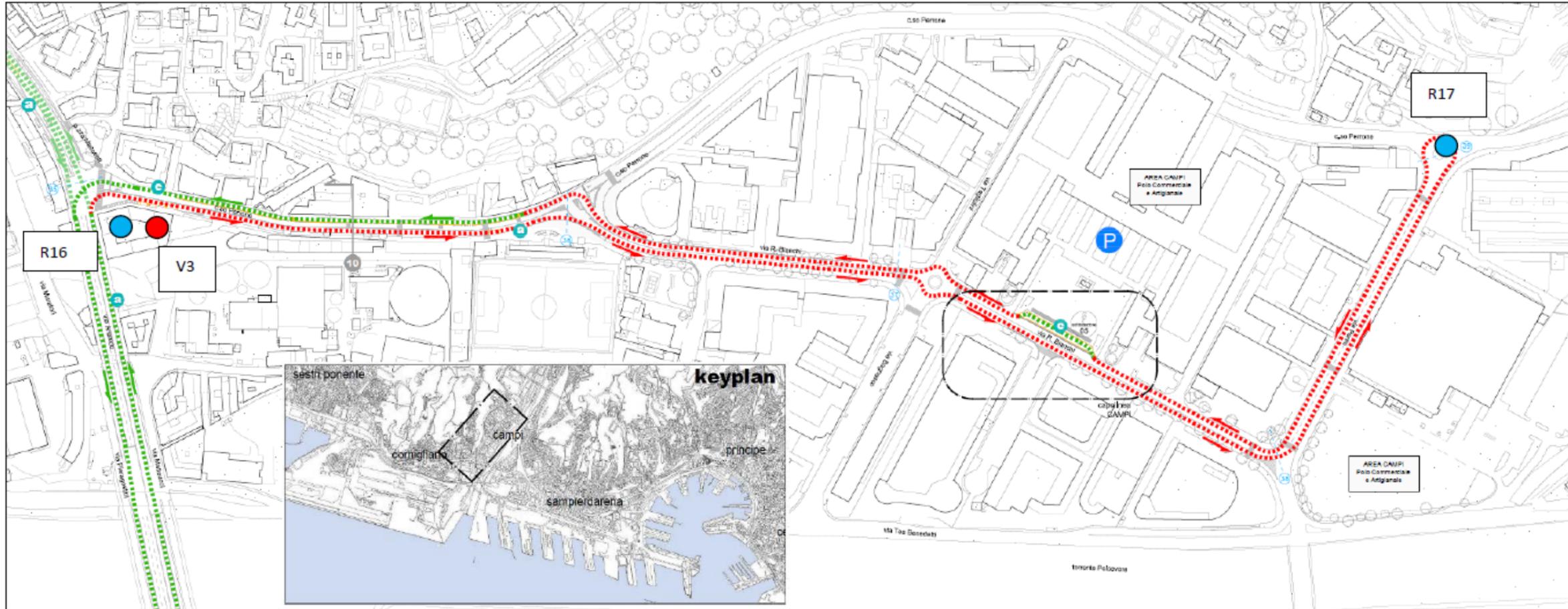




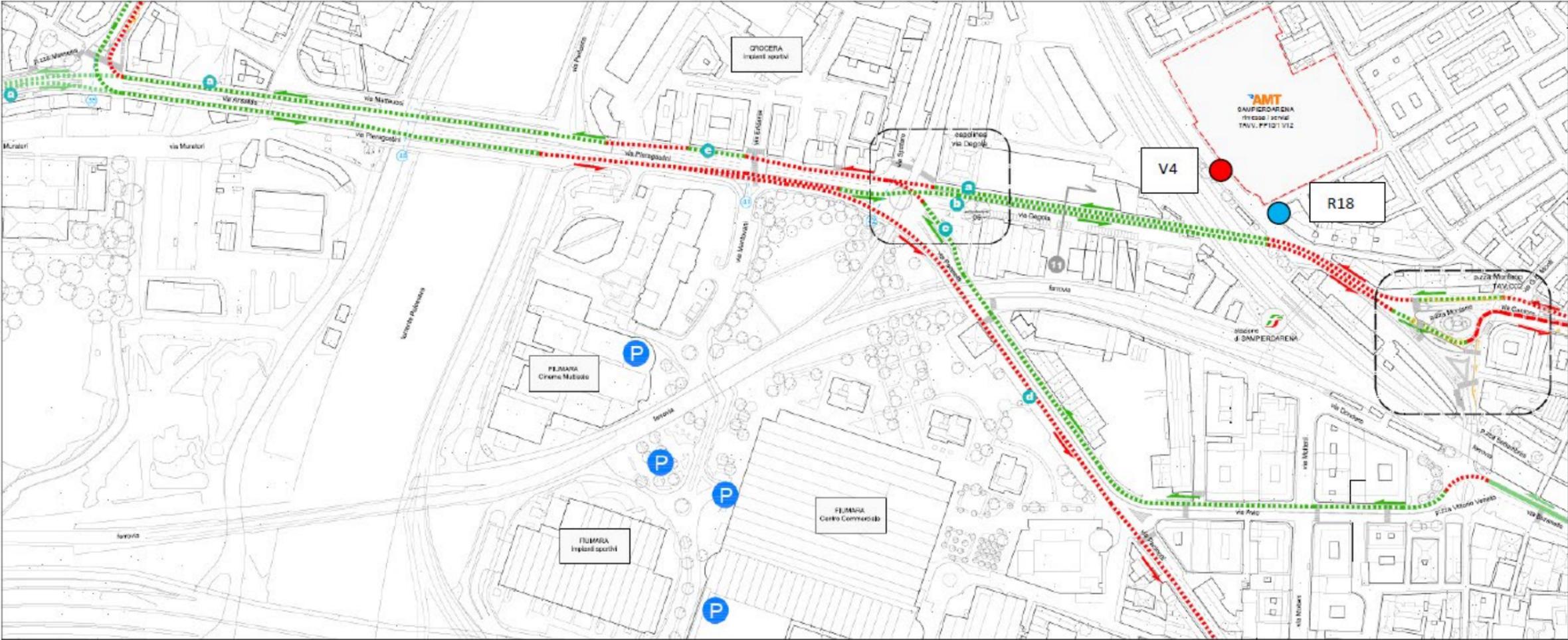
PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	37 di 62

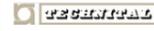


	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>02 D Z1</td> <td>RH</td> <td>IM0001 003</td> <td>C</td> <td>38 di 62</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	38 di 62
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	38 di 62								





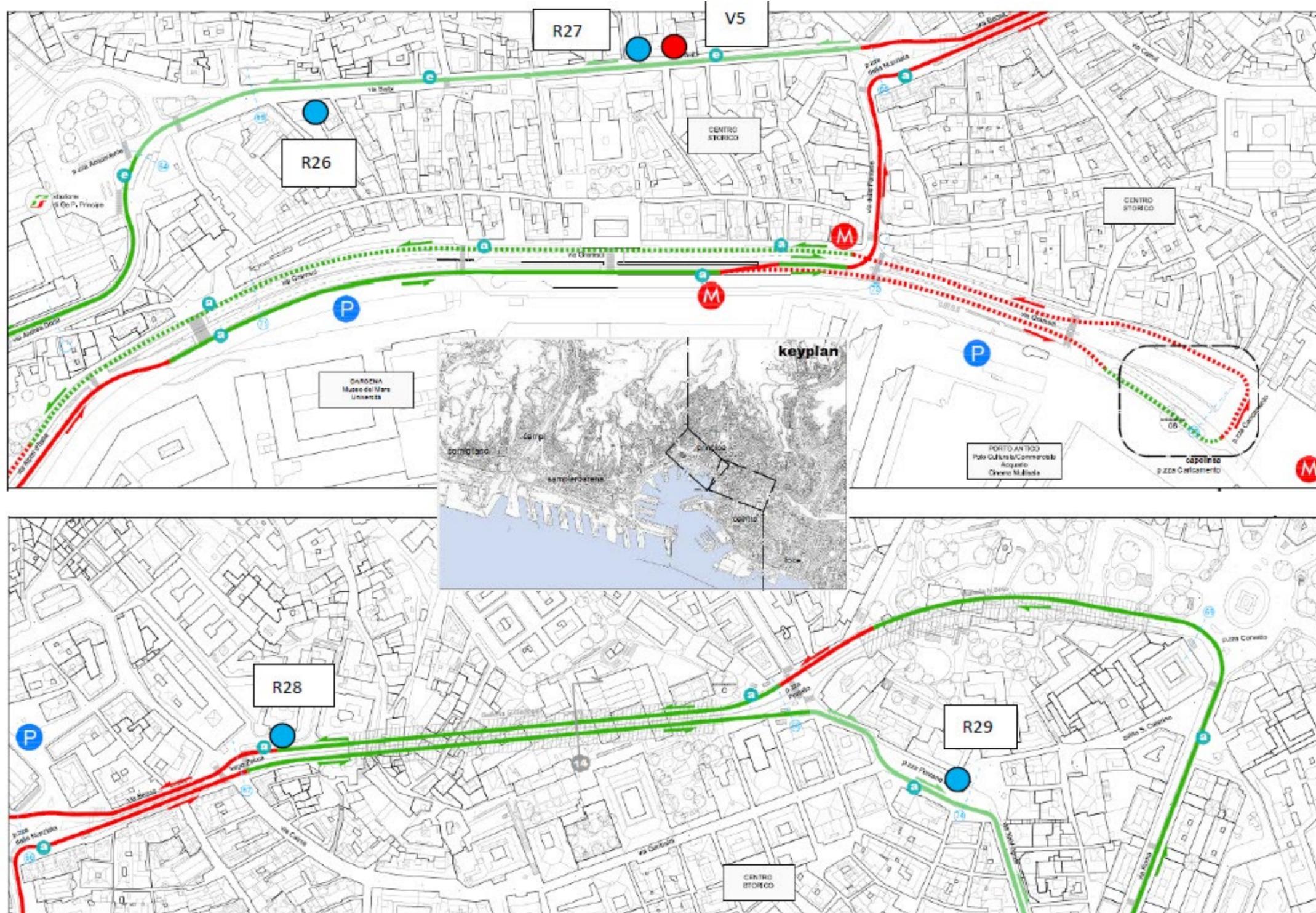


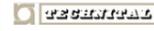


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	41 di 62

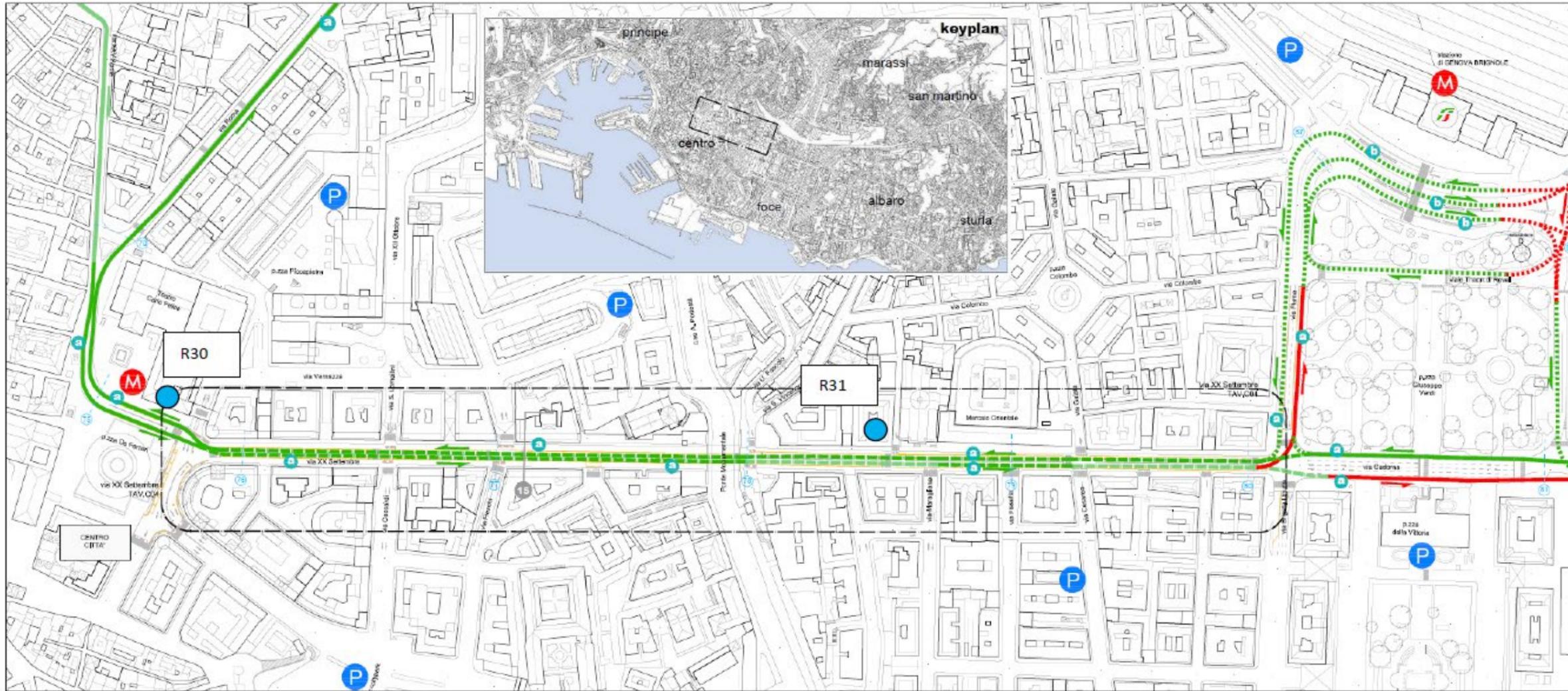


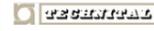


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	42 di 62



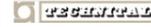


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	43 di 62





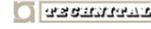
PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	44 di 62



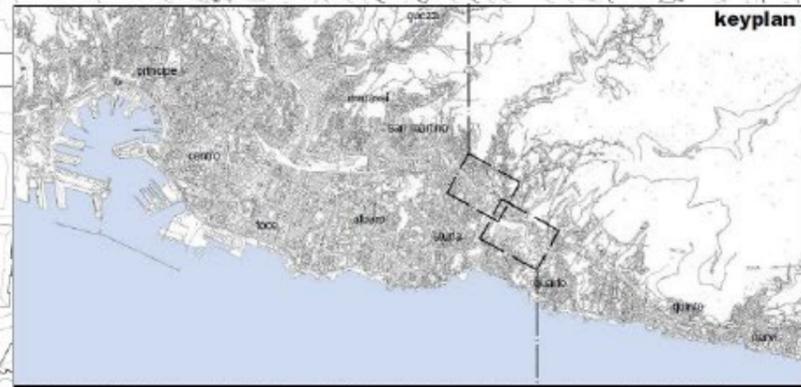
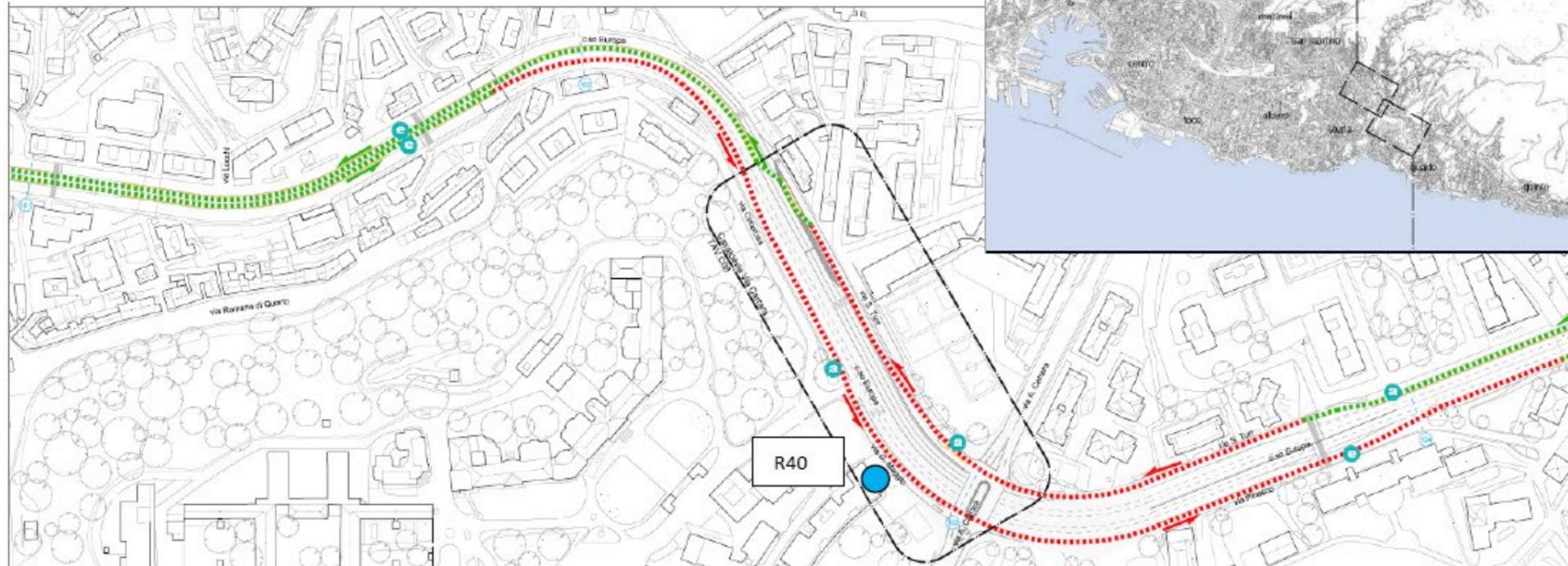


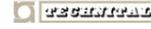


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	46 di 62

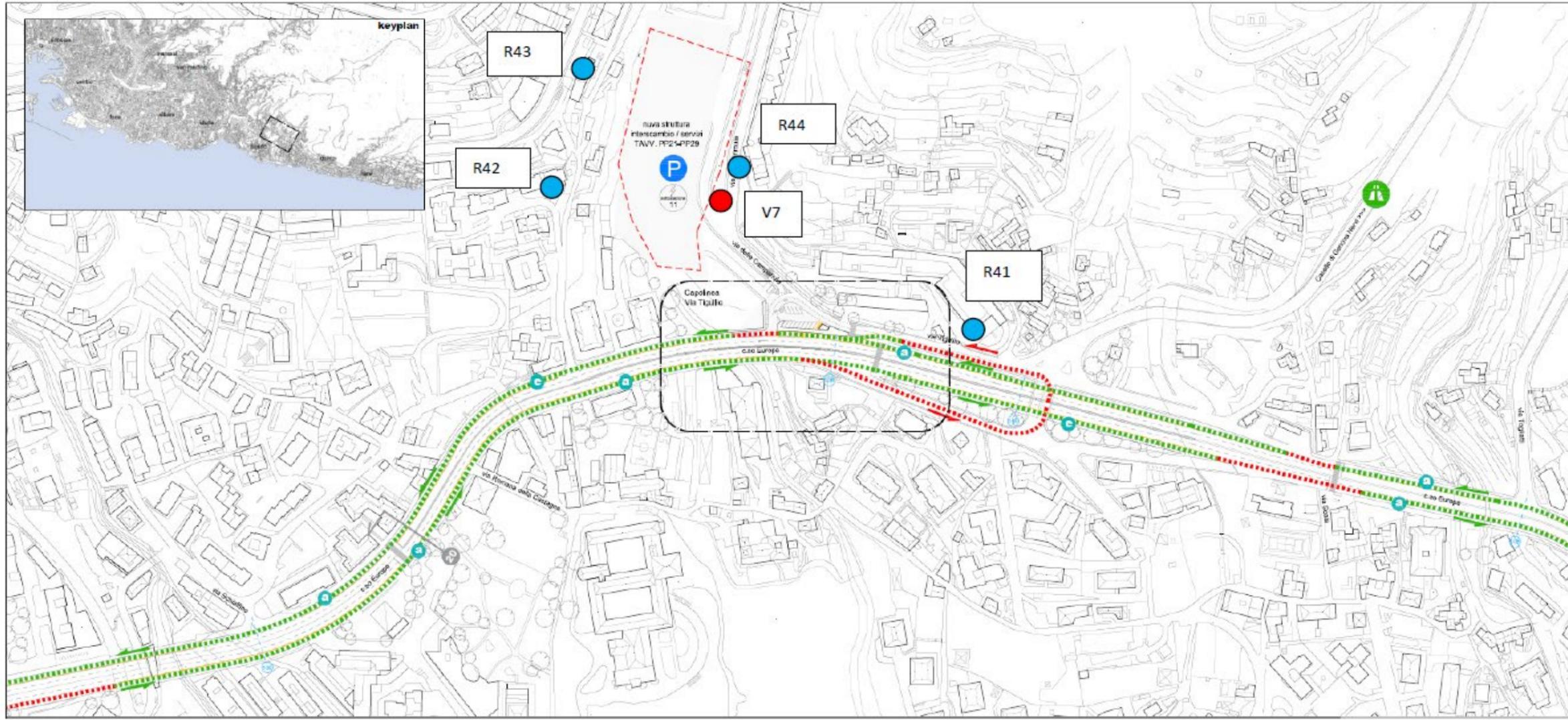


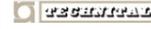


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL  
TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE  
CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	47 di 62

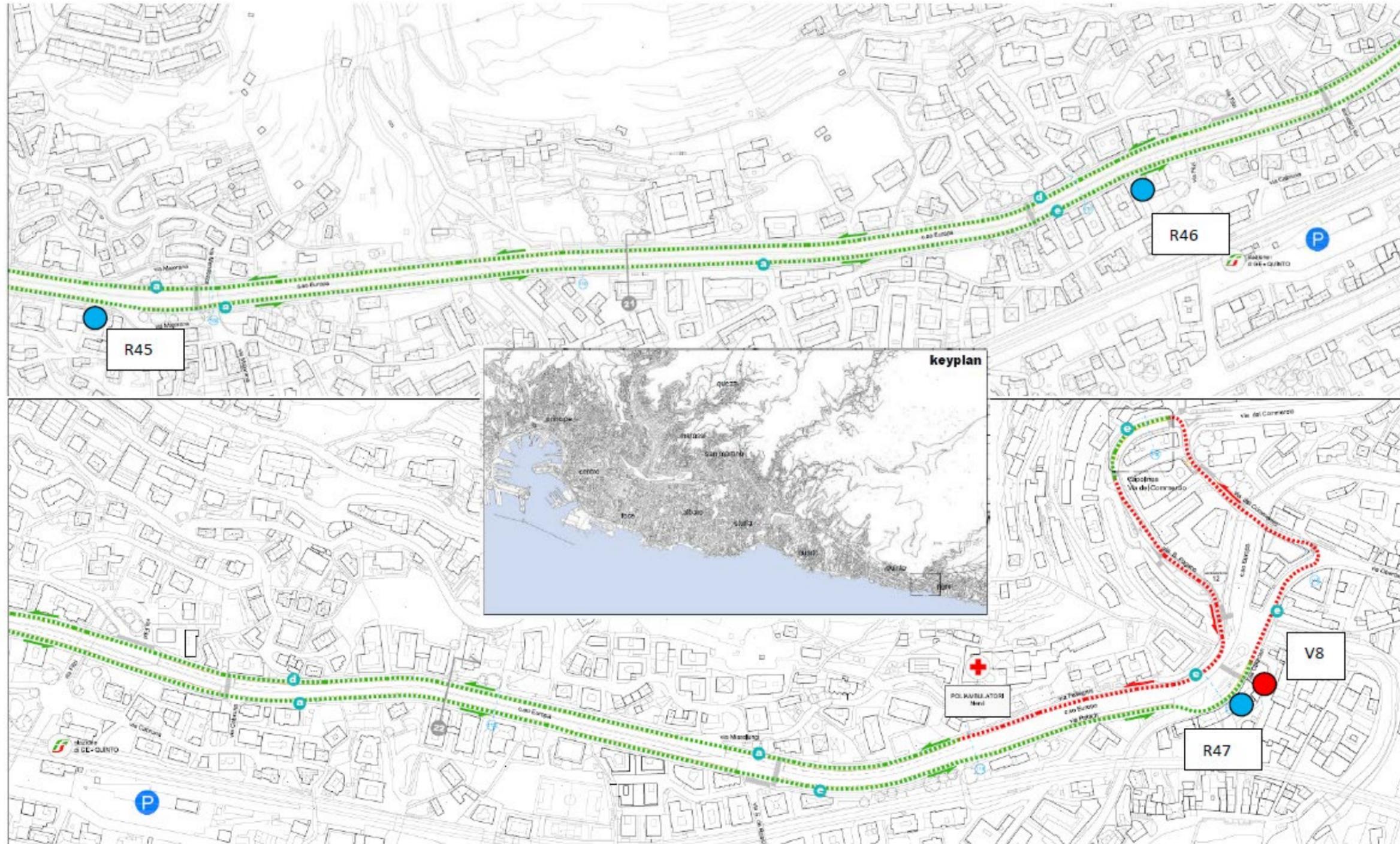


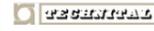


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	48 di 62

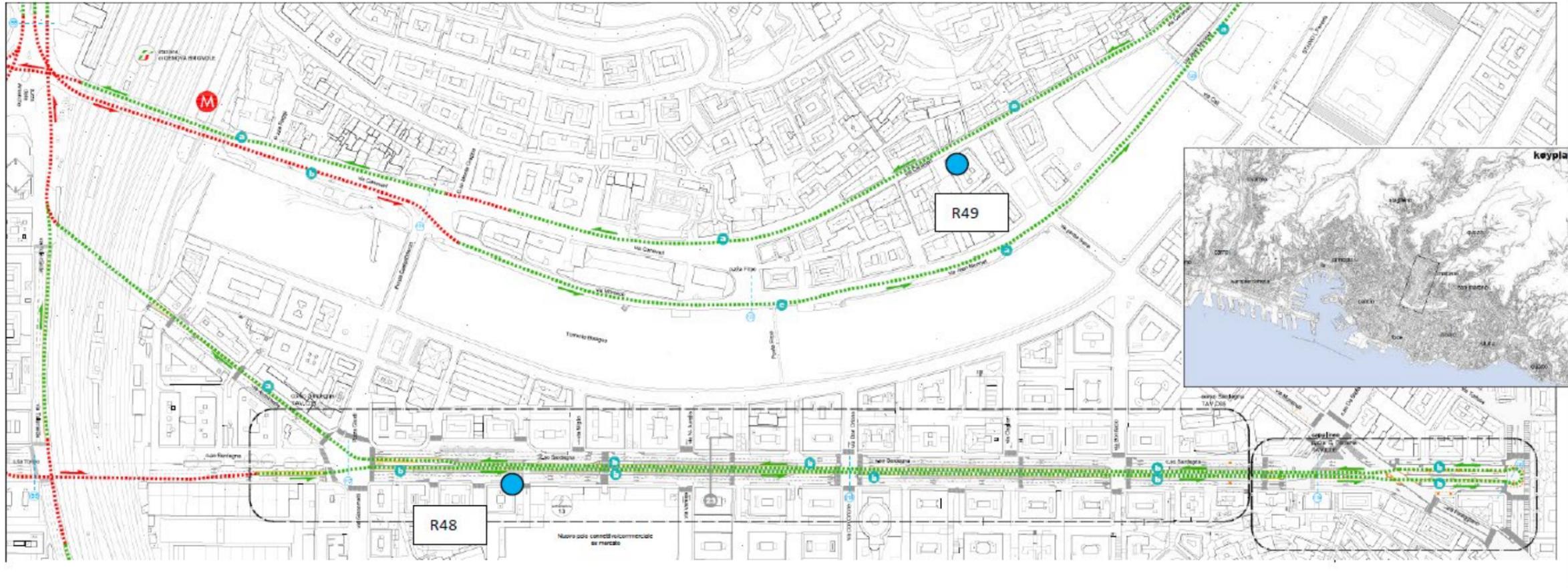




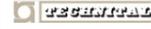
PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	49 di 62



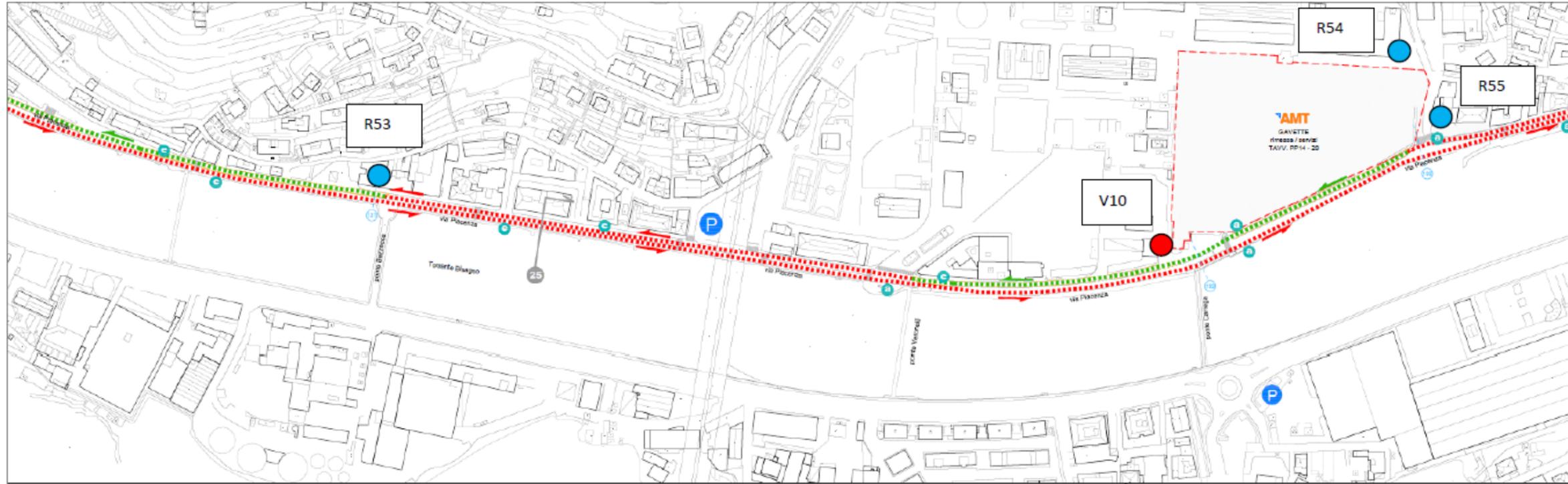


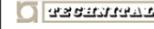


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL  
TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE  
CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	51 di 62

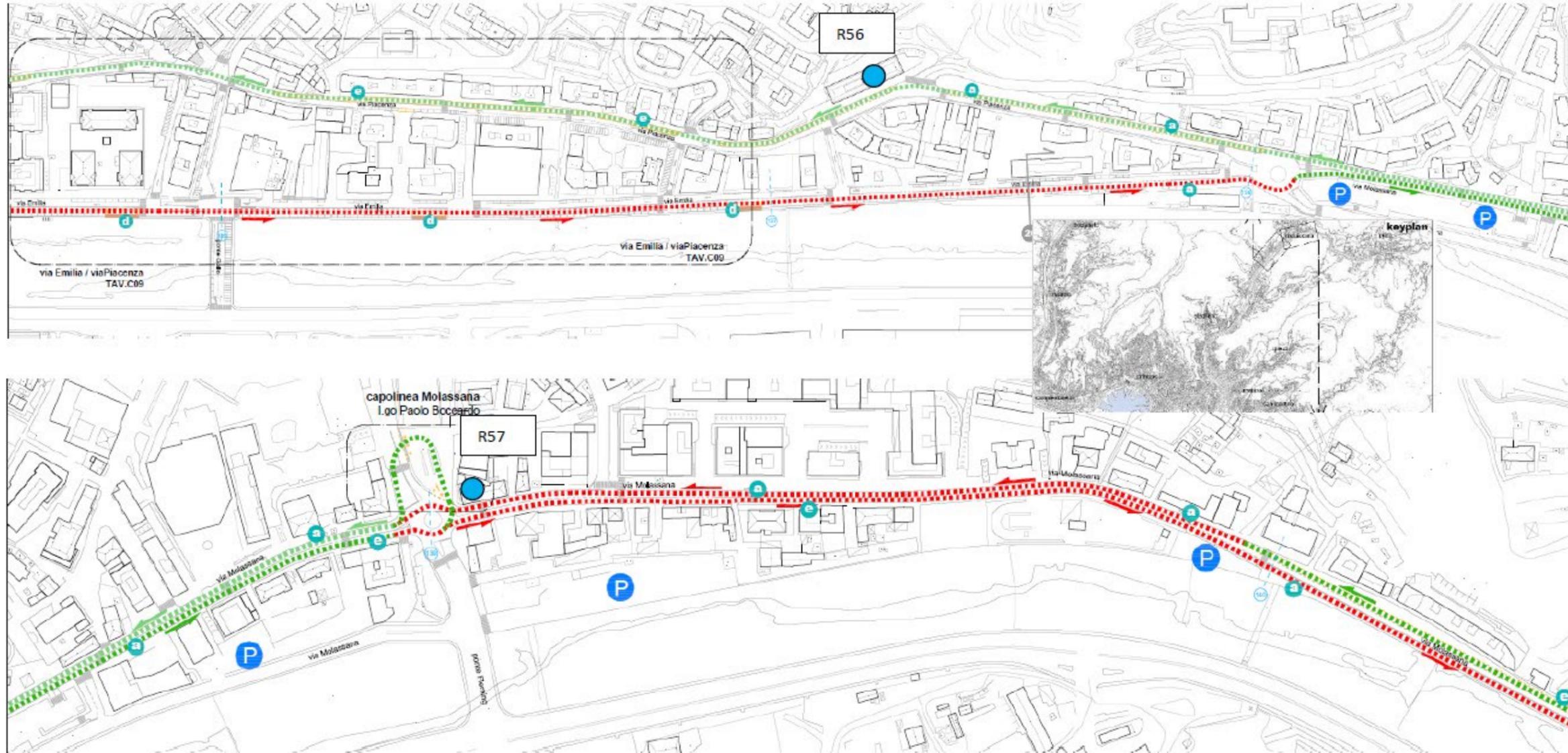


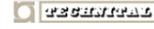


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	52 di 62

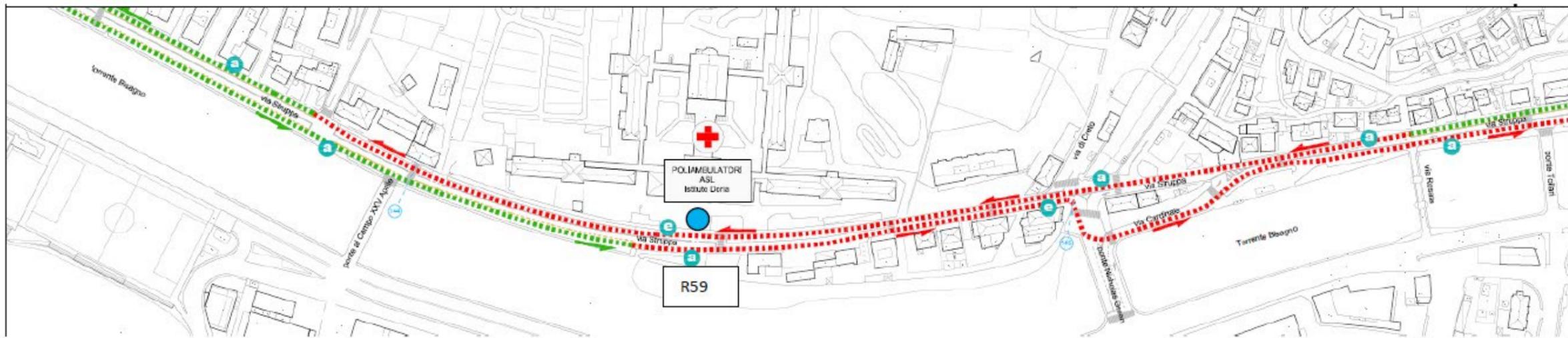
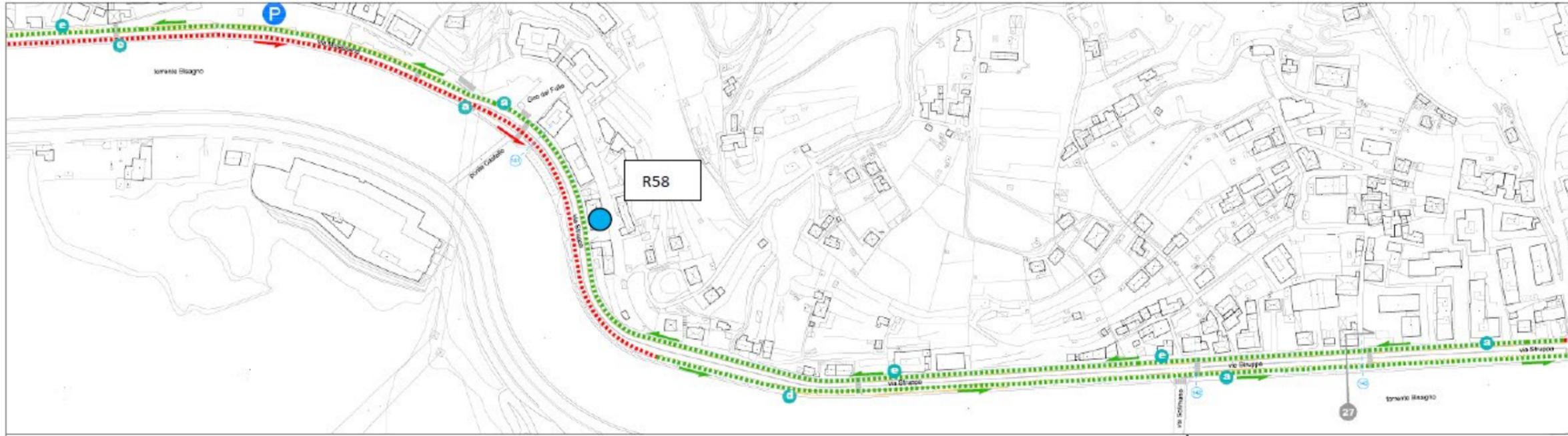


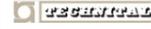


PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	53 di 62

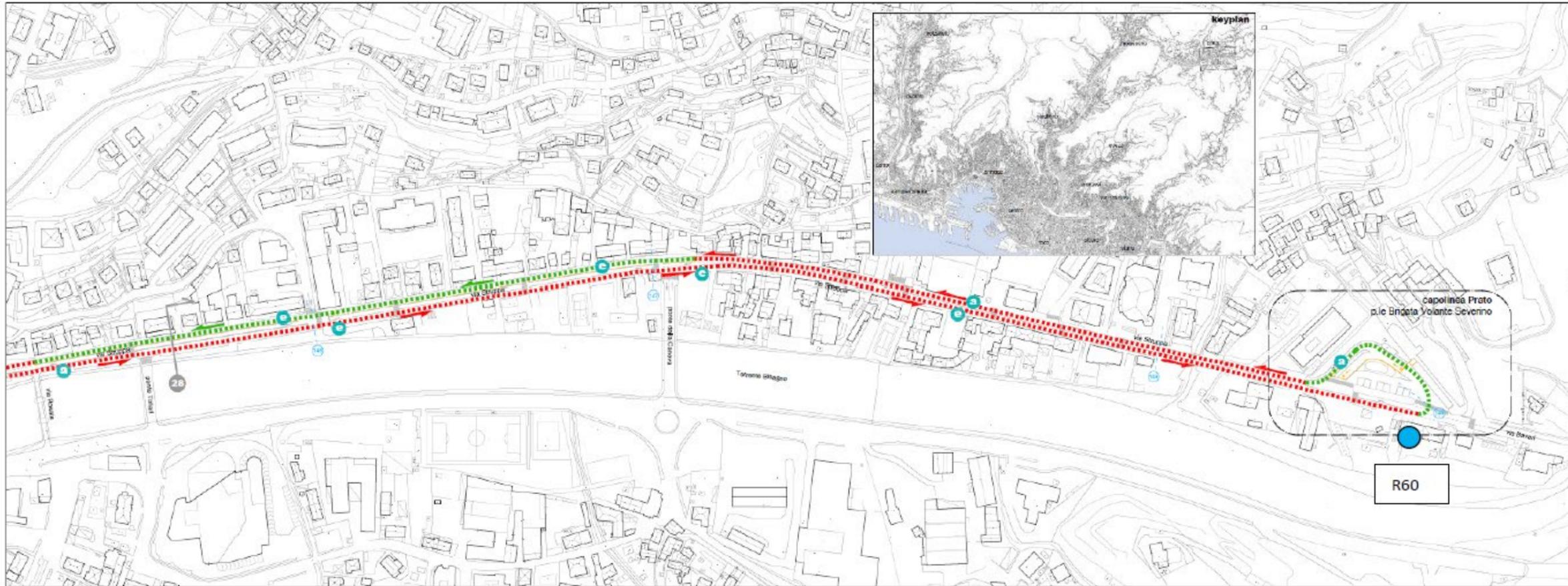




PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)

RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	54 di 62



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>02 D Z1</td> <td>RH</td> <td>IM0001 003</td> <td>C</td> <td>55 di 62</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	55 di 62
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	55 di 62								

## 4. STUDIO PREVISIONALE VIBRAZIONALE

Lo studio previsionale vibrazionale consente una valutazione preventiva dei livelli vibrazionali attesi connessi sia all'esecuzione di lavorazioni di cantiere potenzialmente impattanti, sia all'esercizio di infrastrutture di trasporto. Nel caso specifico l'interesse è dato prevalentemente dalle attività di cantiere, stante che i livelli vibrazionali associati al transito del bus elettrico su gomma sono anche intuitivamente modesti e che l'intera linea filoviaria occupa un sedime già attualmente impegnato da rete viabilistica ordinaria e pertanto caratterizzato da transiti di mezzi su gomma con differenti indici di carico ed ai quali sono associati livelli vibrazionali anche significativamente superiori a quelli connessi ai bus elettrici della filovia.

Effettuata la valutazione, lo studio consente anche di prevenire attraverso l'adozione di misure di mitigazione il disturbo patito dalla popolazione esposta.

Per quanto concerne le attività di cantiere, si osserva che alcune lavorazioni e le relative opere propedeutiche possono risultare talvolta impattanti in quanto alcuni macchinari con il loro movimento sul suolo o per effetto delle azioni meccaniche della lavorazione generano vibrazioni che potrebbero determinare danneggiamenti ai fabbricati (tipicamente di natura cosmetica) o disturbo alle persone. A tal proposito, tenuto conto che i valori limite per i livelli di esposizione alle vibrazioni della popolazione risultano differenti nel periodo diurno e nel periodo notturno e con limiti più restrittivi nel periodo notturno, assumerà particolare importanza la regolamentazione degli orari di esecuzione delle lavorazioni più impattanti dal punto di vista vibrazionale.

Nel caso di specie le attività di cantiere vengono condotte per quasi tutti i siti all'interno di un'area densamente urbanizzata, caratterizzata da spazi nel complesso ristretti, che costringono quasi ovunque ad estendere i confini del cantiere sino alle immediate vicinanze dei fabbricati.

Tale circostanza determina un conseguente inevitabile avvicinamento ai fabbricati delle sorgenti di disturbo rappresentate da macchinari ed impianti.

Per quanto concerne invece l'esercizio della linea, è presumibile che nel periodo notturno siano presenti meno corse e quindi meno transiti per unità di tempo rispetto al periodo diurno, con verosimilmente anche la presenza di fasce orarie caratterizzate da completa assenza di transiti.

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>02 D Z1</td> <td>RH</td> <td>IM0001 003</td> <td>C</td> <td>56 di 62</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	56 di 62
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	56 di 62								

## 4.1 Modalità di esecuzione dello studio previsionale

La valutazione dei livelli di disturbo connessi alla presenza del cantiere o all'esercizio della linea è stata effettuata con l'ausilio di un modello previsionale realizzato internamente su base MathCAD a partire dalle formulazioni analitiche che descrivono la trasmissione delle vibrazioni all'interno di una matrice omogenea raggiungendo poi i fabbricati, a partire da dati di input consistenti negli spettri di emissione alla sorgente del singolo macchinario o attrezzatura.

Per la costruzione dei modelli previsionali si è inoltre fatto riferimento alle trattazioni contenute in articoli specialistici tra i quali si ricordano

- articolo Ing. Pisani dal titolo "Origine, propagazione e modelli previsionali delle vibrazioni dei mezzi di trasporto" (data non disponibile)
- quaderno n. 21 Ciriak "Modelli delle vibrazioni indotte da treni e veicoli su strada nel terreno" del febbraio 2004

Per le attrezzature di interesse, a partire da dati bibliografici disponibili in archivio o dati di letteratura relativi alle principali attrezzature e mezzi di interesse, ivi incluso un veicolo elettrico assimilabile a quello previsto per la filovia, si è provveduto a valutare, in funzione della distanza del generico punto ricettore e della tipologia di ricettore esaminato, il livello vibrazionale connesso al transito o all'operatività del mezzo/attrezzatura, definendo in modo parametrico l'impatto finale atteso.

Si osserva che in materia di impatto vibrazionale connesso a lavorazioni di cantiere ricorrenti in letteratura si possono reperire sia spettri sorgente di macchinari che valutazioni previsionali parametriche basate sulla semplice propagazione delle vibrazioni in relazione alla distanza del punto ricettore.

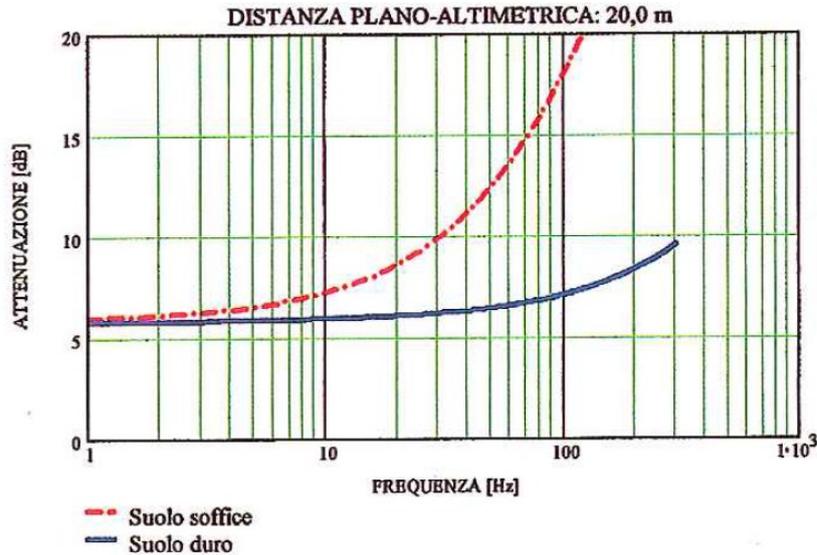
### 4.1.1.1 *Attenuazione nel terreno*

Le formulazioni teoriche utilizzate per la definizione di valori previsionali mostrano in generale una curva di attenuazione incrementale in funzione della frequenza, ancorché di entità variabile in funzione della tipologia di terreno esaminato.

Il grafico sotto riportato illustra il differente comportamento, a parità di geometria e livello sorgente, dell'attenuazione in terreni con parametri geotecnici diversi.

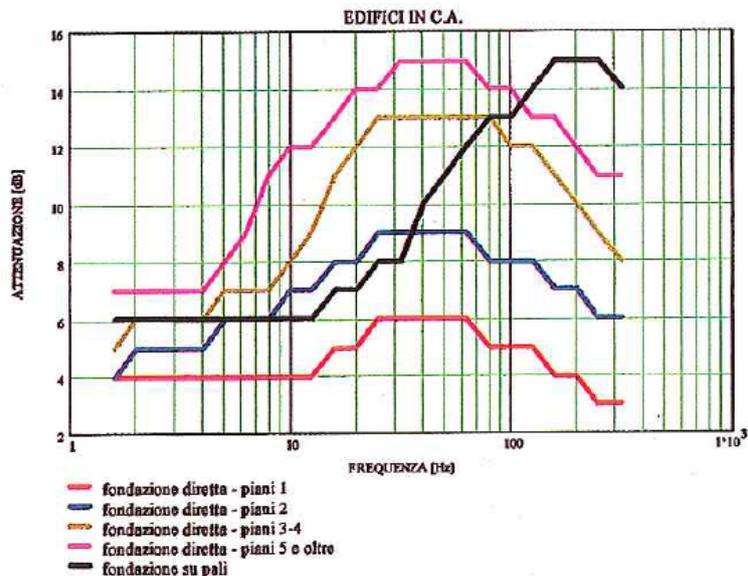
RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	57 di 62



*Accoppiamento fondazione - terreno*

I valori di attenuazione di letteratura normalmente impiegati per l'effettuazione di studi previsionali (illustrati nel grafico di seguito riportato) presentano i massimi valori di attenuazione in un range di frequenze dell'ordine di 30-70 Hz. Nelle formulazioni analitiche di letteratura non risulta possibile mettere in conto eventuali risonanze locali del terreno in quanto la formulazione delle leggi di attenuazione di letteratura possiede una validità avulsa dallo specifico sito.



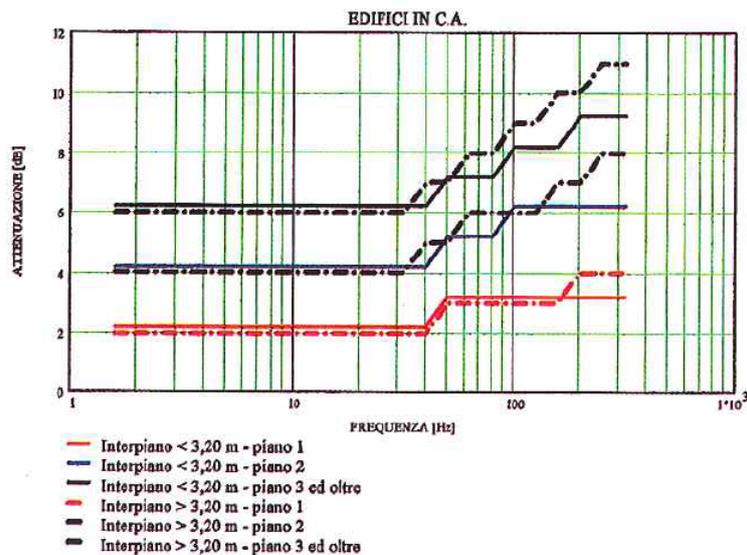
**RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	58 di 62

### Attenuazioni/amplificazioni tra i diversi piani

Di seguito viene riportato il grafico relativo alle amplificazioni di solaio derivante dall'approccio analitico.

Il confronto dei dati sperimentali con le formulazioni analitiche usualmente impiegate (che di norma peraltro non considerano i piani terra ed interrato) evidenzia talvolta per i piani in elevazione attenuazioni un po' inferiori a quelle connesse ad un calcolo previsionale sulla base delle formulazioni di letteratura. Una possibile ragionevole spiegazione potrebbe risiedere nel fatto che i punti di misura ai diversi piani possono risentire in parte anche dell'attività antropica all'interno delle unità immobiliari, rispetto alla quale non è possibile formulare considerazioni tenuto conto che, anche qualora presente, non risulta solitamente monitorabile.



	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>					
<b>RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE</b>	COMMESSA E21D	LOTTO 02 D Z1	CODIFICA RH	DOCUMENTO IM0001 003	REV. C	FOGLIO 59 di 62

## 4.2 Risultati della modellazione

La modellazione previsionale condotta con la formulazione analitica ha consentito di valutare l'entità dei livelli vibrazionali attesi conseguenti alle attività di cantiere ed ai transiti di filobus elettrici.

La valutazione è stata condotta sia in ordine alla possibile insorgenza di danni ai fabbricati (anche di tipo cosmetico), sia in ordine al possibile disturbo alle persone. I due aspetti sono regolati da due differenti norme tecniche:

UNI 9916:2014: "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici"

UNI 9614:2017: "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo"

Occorre evidenziare che la valutazione dell'insorgenza di danni ai fabbricati ha limiti di riferimento indipendenti dal periodo diurno o notturno, feriale o festivo, ma dipendenti esclusivamente dalla tipologia di fabbricato in esame.

Al contrario i limiti per la valutazione del disturbo alle persone risultano dipendenti dalla destinazione d'uso del fabbricato, ma anche dal periodo di riferimento e dalle giornate feriali o festive.

Poiché sia le lavorazioni di cantiere che i transiti dei veicoli elettrici della filovia avverranno per lungo periodo e, nelle more di ulteriori precisazioni, potrebbero interessare tutte le fasce temporali, i risultati ottenuti vengono confrontati con i limiti più restrittivi.

In occasioni di future possibili analisi previsionali di maggiore dettaglio si potrà tenere conto sia dell'effettiva distribuzione temporale degli eventi (attività di cantiere o transiti) sia delle caratteristiche costruttive dei fabbricati e della loro destinazione d'uso.

Di seguito vengono riassunte le risultanze dei calcoli previsionali con riferimento alle due grandezze di interesse.

### 4.2.1 Area rimessa Gavette (oggetto di altro appalto)

- Scenario scavo  
Velocità di vibrazione per vibrazioni durature: 1.65 mm/s  
Massima accelerazione ponderata  $V_{sor}$ : 6.2 mm/s<sup>2</sup>
- Scenario scenario getti in calcestruzzo  
Velocità di vibrazione per vibrazioni durature: 0.90 mm/s  
Massima accelerazione ponderata  $V_{sor}$ : 2.8 mm/s<sup>2</sup>
- Scenario finiture edili

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>02 D Z1</td> <td>RH</td> <td>IM0001 003</td> <td>C</td> <td>60 di 62</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	60 di 62
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	60 di 62								

Velocità di vibrazione per vibrazioni durature: 1.05 mm/s

Massima accelerazione ponderata  $V_{sor}$ : 3.1 mm/s<sup>2</sup>

- Scenario riassetto layout viabilistico

Velocità di vibrazione per vibrazioni durature: 3.80 mm/s

Massima accelerazione ponderata  $V_{sor}$ : 11.3 mm/s<sup>2</sup>

- Scenario transito veicolo elettrico

Velocità di vibrazione per vibrazioni durature: 0.08 mm/s

Massima accelerazione ponderata  $V_{sor}$ : 0.45 mm/s<sup>2</sup>

#### **4.2.2 Area rimessa Staglieno (oggetto di altro appalto)**

- Scenario scavo

Velocità di vibrazione per vibrazioni durature: 1.80 mm/s

Massima accelerazione ponderata  $V_{sor}$ : 6.4 mm/s<sup>2</sup>

- Scenario scenario getti in calcestruzzo

Velocità di vibrazione per vibrazioni durature: 1.15 mm/s

Massima accelerazione ponderata  $V_{sor}$ : 3.55 mm/s<sup>2</sup>

- Scenario finiture edili

Velocità di vibrazione per vibrazioni durature: 1.10 mm/s

Massima accelerazione ponderata  $V_{sor}$ : 3.35 mm/s<sup>2</sup>

- Scenario riassetto layout viabilistico

Velocità di vibrazione per vibrazioni durature: 3.90 mm/s

Massima accelerazione ponderata  $V_{sor}$ : 11.4 mm/s<sup>2</sup>

- Scenario transito veicolo elettrico

Velocità di vibrazione per vibrazioni durature: 0.09 mm/s

Massima accelerazione ponderata  $V_{sor}$ : 0.48 mm/s<sup>2</sup>

#### **4.2.3 Area cantiere lungo linea**

- Scenario riassetto layout viabilistico

Velocità di vibrazione per vibrazioni durature: 4.85 mm/s

Massima accelerazione ponderata  $V_{sor}$ : 13.5 mm/s<sup>2</sup>

- Scenario transito veicolo elettrico

Velocità di vibrazione per vibrazioni durature: 0.14 mm/s

Massima accelerazione ponderata  $V_{sor}$ : 0.52 mm/s<sup>2</sup>

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>02 D Z1</td> <td>RH</td> <td>IM0001 003</td> <td>C</td> <td>61 di 62</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	61 di 62
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	61 di 62								

### 4.3 Considerazioni conclusive

Lo studio ha consentito una preventiva valutazione dei livelli vibrazionali attesi in fase di cantiere ed in fase di esercizio della linea. I calcoli di cui alla precedente sintesi consentono di osservare, con riferimento ai due principali temi relativi alla possibile insorgenza di danni ai fabbricati e di disturbo alle persone, quanto di seguito descritto.

Per quanto riguarda la possibile insorgenza di danni ai fabbricati:

- le lavorazioni di scavo, realizzazione nuovi getti ed attività di finitura edile determinano livelli vibrazionali indotti in generale compatibili con i limiti normativi anche nel caso di strutture appartenenti alla classe 3 della norma corrispondenti alle strutture più sensibili (monumenti, edifici storici, ecc.). Per fabbricati di particolare interesse o pregio dovrebbe essere condotta una valutazione di maggiore dettaglio una volta note le modalità operative secondo quanto previsto di progetto esecutivo, anche tenendo conto di eventuali peculiarità introdotte dall'Appaltatore
- le lavorazioni di riassetto del layout viabilistico comprendenti rimodellazione dei cordoli e marciapiedi, posa dei pali di sostegno delle linee di alimentazione elettrica, ridefinizione delle aiuole spartitraffico, rifacimento del fondo stradale con fresatura o riasfaltatura potrebbero introdurre, prevalentemente durante le fasi di riasfaltatura con presenza di finitrice e rullo compressore, valori talvolta superiori ai limiti ammissibili nel caso di fabbricati di classe 3, ma compatibili con i limiti nel caso di fabbricati di classe 1 e 2. In fase di definizione del progetto esecutivo si raccomanda pertanto particolare attenzione nella definizione delle modalità operative per tali lavorazioni soprattutto con riferimento alle aree caratterizzate dalla presenza di fabbricati sensibili quali monumenti o edifici di connotazione storica, ad esempio con strutture portanti in muratura e solai in legno. Poiché di fatto non esistono misure rimediali di cantiere occorre qualora necessario intervenire sulle modalità operative o limitare temporalmente, per quanto possibile, la durata delle lavorazioni potenzialmente impattanti. L'intervento può consistere anche nell'adozione da parte dell'Appaltatore di una politica "buy quiet" che preveda una specifica attenzione alla scelta di macchinari ed attrezzature a basso impatto acustico e vibrazionale.
- i transiti del filobus elettrico introducono livelli vibrazionali trascurabili, spesso anche inferiori ai livelli associati al singolo veicolo termico attualmente circolante. Per completezza si osserva che, in tema di vibrazioni connesse a transiti veicolari su gomma, assume un ruolo importante il grado di conservazione del fondo stradale: eventuali

	<b>PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL SISTEMA DEGLI ASSI DI FORZA PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE (RETE FILOVIARIA E STRUTTURE CONNESSE)</b>												
<b>RELAZIONE DI IMPATTO VIBRAZIONALE</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>E21D</td> <td>02 D Z1</td> <td>RH</td> <td>IM0001 003</td> <td>C</td> <td>62 di 62</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	62 di 62
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
E21D	02 D Z1	RH	IM0001 003	C	62 di 62								

sconnessioni o avvallamenti così come l'usura superficiale del manto determinano un aumento dei livelli vibrazionali associati al singolo transito e, conseguentemente, di quelli complessivi

Per quanto riguarda il disturbo alle persone:

- le lavorazioni di scavo, realizzazione nuovi getti ed attività di finitura edile determinano, per ricettori a carattere residenziale, livelli vibrazionali indotti in generale compatibili con i limiti normativi con riferimento a periodi feriali diurni. Nel caso di lavorazioni condotte in periodi festivi o notturni i limiti risulterebbero superati. Per quanto concerne ricettori ad uso ufficio o con connotazione artigianale, commerciale o produttiva, i limiti risultano sempre verificati. Non essendo possibile attivare misure rimediali dirette, l'intervento può consistere nella limitazione temporale delle lavorazioni impattanti e nell'adozione da parte dell'Appaltatore di una politica "buy quiet" che preveda una specifica attenzione alla scelta di macchinari ed attrezzature a basso impatto acustico e vibrazionale.
- le lavorazioni di riassetto del layout viabilistico comprendenti rimodellazione dei cordoli e marciapiedi, posa dei pali di sostegno delle linee di alimentazione elettrica, ridefinizione delle aiuole spartitraffico, rifacimento del fondo stradale con fresatura o riasfaltatura determinano, per ricettori a carattere residenziale, livelli vibrazionali indotti anche superiori ai limiti normativi, essenzialmente riconducibili alle fasi di finitura e rullatura del manto stradale nell'intervento di rifacimento. Per quanto concerne ricettori ad uso ufficio o con connotazione artigianale, commerciale o produttiva, i limiti risultano invece sempre verificati. Non essendo possibile attivare misure rimediali dirette, l'intervento può consistere nella limitazione temporale delle lavorazioni impattanti e nell'adozione da parte dell'Appaltatore di una politica "buy quiet" che preveda una specifica attenzione alla scelta di macchinari ed attrezzature a basso impatto acustico e vibrazionale.
- i transiti del filobus elettrico introducono livelli vibrazionali trascurabili, compatibili con i limiti normativi applicabili e di norma neppure percepiti dalla popolazione in quanto inferiori al livello di fondo rilevabile.