

VIBRail: Datenbank für die Bearbeitung und die Analyse von Zugserschütterungsdaten

D. Cordier, A. Bernasconi, D. Bozzolo, IFEC ingegneria SA, Rivera, CH

Abstract

Erschütterungs- und Körperschallimmissionen, die durch die Durchfahrt von Eisenbahn verursacht werden, stellen eine bedeutende Störung für in der Nähe von Eisenbahnstrecken wohnhafte Menschen dar.

Bei Schieneninfrastrukturprojekten erfordert die Untersuchung der Umweltauswirkungen nach den geltenden Rechtsgrundlagen eine Überprüfung derjenigen, die sich auf Erschütterung und Körperschall beziehen. In der Praxis wird diese Überprüfung zunächst durch eine theoretische Situationsmodellierung (mit den Modellen VIBRA-1 und 2) durchgeführt. Auf der Grundlage der theoretischen Ergebnisse werden In-situ-Messungen an empfindlichen Rezeptoren durchgeführt, bei denen Grenzwerte überschritten werden können. Die Verfeinerung der theoretischen Ergebnisse durch Messdaten ermöglicht es, das Modell zu kalibrieren und zukünftige Immissionen zu schätzen. Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse können bei Bedarf geeignete Schutzmassnahmen zur Verringerung der Belästigung in das Projekt integriert werden.

Dieser Artikel stellt VIBRail vor. Dabei handelt es sich um eine relationale Datenbank, welche die Verwaltung und die Bearbeitung von Daten ermöglicht, die im Rahmen einer Messkampagne von Erschütterungen und Körperschall generiert wurden. Die Datenbankarchitektur ermöglicht zudem, Metaanalysen auf der Grundlage der Eigenschaften der gemessenen Züge (Typologie, Geschwindigkeit) und der Strecke (Bahnboden, Lärmschutzwände, Kurvenstrecke, etc.) durchzuführen. Dies ermöglicht, zuverlässige und dokumentierte Daten zur Verfügung zu haben, um die Modellierung mittels VIBRA-1 und VIBRA-2 zu vervollständigen bzw. zu unterstützen.

VIBRAIL: Datenbank für die Bearbeitung und die Analyse von Zugerschütterungsdaten

David Cordier, Angelo Bernasconi und Dario Bozzolo - IFEC ingegneria SA Rivera

Inhaltsverzeichnis

1. EINFÜHRUNG	2
2. KONTEXT.....	2
2.1. GESETZLICHE GRUNDLAGEN.....	2
2.2. ZUGMESSUNGEN IN DER PRAXIS	3
3. VIBRAIL	4
3.1. ALLGEMEINE ANGABEN	4
3.2. STRUKTUR	4
3.3. DATENBEARBEITUNG.....	5
3.4. ANALYSE UND VERTIEFUNG.....	8
3.5. ANWENDUNGSBEISPIEL.....	10
3.6. ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN.....	12
4. SCHLUSSFOLGERUNGEN	13

1. Einführung

Erschütterungs- und Körperschallimmissionen, die durch die Durchfahrt von Eisenbahn verursacht werden, stellen eine bedeutende Störung für in der Nähe von Eisenbahnstrecken wohnhafte Menschen dar.

Bei Schieneninfrastrukturprojekten erfordert die Untersuchung der Umweltauswirkungen nach den geltenden Rechtsgrundlagen eine Überprüfung derjenigen, die sich auf Erschütterung und Körperschall beziehen. In der Praxis wird diese Überprüfung zunächst durch eine theoretische Situationsmodellierung (mit den Modellen VIBRA-1 und 2) durchgeführt. Auf der Grundlage der theoretischen Ergebnisse werden In-situ-Messungen an empfindlichen Rezeptoren durchgeführt, bei denen Grenzwerte überschritten werden können. Die Verfeinerung der theoretischen Ergebnisse durch Messdaten ermöglicht es, das Modell zu kalibrieren und zukünftige Immissionen zu schätzen. Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse können bei Bedarf geeignete Schutzmassnahmen zur Verringerung der Belästigung in das Projekt integriert werden.

Dieser Artikel stellt VIBRail vor. Dabei handelt es sich um eine relationale Datenbank, welche die Verwaltung und die Bearbeitung von Daten ermöglicht, die im Rahmen einer Messkampagne von Erschütterungen und Körperschall generiert wurden. Die Datenbankarchitektur ermöglicht zudem, Metaanalysen auf der Grundlage der Eigenschaften der gemessenen Züge (Typologie, Geschwindigkeit) und der Strecke (Bahnboden, Lärmschutzwände, Kurvenstrecke, etc.) durchzuführen. Dies ermöglicht, zuverlässige und dokumentierte Daten zur Verfügung zu haben, um die Modellierung mittels VIBRA-1 und VIBRA-2 zu vervollständigen bzw. zu unterstützen.

2. Kontext

2.1. Gesetzliche Grundlagen

Das Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG) schafft die Voraussetzungen für den Schutz des Menschen vor schädlichen oder lästigen Eingriffen und sieht die Festlegung und Anwendung von Einschränkungen vor.

In der Schweiz gibt es derzeit keine spezielle Erschütterungsverordnung. Im Eisenbahnbereich wurde 1999 die BEKS-Richtlinie erlassen, um die mit dem Zugverkehr verbundenen Erschütterungs- und Körperschallimmissionen im Sinne des USG zu regeln. Diese Richtlinie, die ursprünglich als Übergangsrichtlinie gedacht war, ist heute noch in Kraft.

Ziel ist es, die Einhaltung der massgeblichen Beurteilungsgrössen bei empfindlichen Empfängern zu überprüfen. Die von der Richtlinie berücksichtigten Beurteilungsgrössen für Störungen von Personen durch Erschütterungen beziehen sich auf die deutsche Norm DIN 4150-2. Für Körperschall liefert der BEKS direkte Richtwerte.

Die praktische Anwendung dieser Richtlinie ist im Rahmen von Plangenehmigungsverfahren vorgesehen, insbesondere bei Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP), bei der Erstellung von

Umweltchecklisten oder bei Verfahren zum Bau durch Dritte in der Nähe von Eisenbahnstrecken¹.

2.2. Zugmessungen in der Praxis

Das Standardverfahren für die Bewertung von Erschütterungen und Körperschall in Umweltverträglichkeitsprüfungen sieht eine erste Bewertung des Abschnitts vor, um Gebäude zu identifizieren, die potenziell erheblichen Immissionen ausgesetzt sind. Diese Bewertung und die Auswahl der einzubeziehenden Gebäude basieren auf Projektdokumentationen (insbesondere Plänen), Besichtigungen vor Ort sowie Erfahrungen mit ähnlichen Situationen.

Die Situation dieser Gebäude kann dann mit VIBRA-1 modelliert werden, um die Grenzfälle zu bestimmen. Basierend auf den Ergebnissen des Modells wird die Definition der Gebäude, die in erster Linie gemessen werden sollen, durchgeführt. In der Regel konzentrieren sich die Messungen auf Immissionen (Erschütterungen und Körperschall), die für die Überprüfung des BEKS entscheidend sind. Zusätzliche Messungen werden teilweise parallel durchgeführt (Emissionen, Luftschall, Fundamente, Freifeld), je nach Besonderheiten des Projekts.

Messungen werden verwendet, um die tatsächlichen Immissionen in einem Gebäude zu bestimmen (KB_{FTm} und KB_{FTr} -Werte für Erschütterungen, $LA_{eq,16h}$ und $LA_{eq,1h}$ für Körperschall) und das VIBRA-1-Modell zu kalibrieren. Diese Kalibrierung wird getrennt für Erschütterungen (Verhältnis zwischen gemessenen und theoretischen Erschütterungen) und für Körperschall (Differenz zwischen gemessenem und theoretischem Körperschall) durchgeführt. Der Nachweis der Einhaltung der Beurteilungsgrenze basiert dann auf einem kalibrierten Zukunftszustand.

Bei Überschreitung der Grenzwerte können spezifische Minderungsmaßnahmen, wie z.B. der Einbau von Unterschottermatten, entwickelt werden.

Durch diesen Ansatz ist es möglich, alle Anforderungen der BEKS-Richtlinie und der Umweltprüfungsverfahren für Eisenbahnprojekte zu erfüllen.

Allerdings sind noch eine Reihe von Fragen offen, insbesondere hinsichtlich möglicher Verbesserungen der Verfahren und der Robustheit der Analyseverfahren. Die folgende Liste beschreibt einige der Fragen:

- Kann die Repräsentativität der Ergebnisse verbessert werden?
- Kann die Qualität der Prognosen im zukünftigen Zustand verbessert werden (z. B. für Sonderfälle wie einem neuen Tunnel)?
- Wie können die erhobenen Daten zur Unterstützung der Entwicklung von Schutzmaßnahmen verwendet werden?

¹ Siehe insbesondere *UVP-Handbuch* (BAFU, 2009) und *Checkliste Umwelt für nicht UVP-pflichtige Eisenbahnanlagen* (BAFU, 2010).

3. VIBRail

3.1. Allgemeine Angaben

VIBRail ist ein Informationssystem (relationale Datenbank), das ein globales und einheitliches Management aller Projektparameter im Bereich Eisenbahn Erschütterungen und Körperschall ermöglicht. Die Datenbank ermöglicht es, die Besonderheiten der Strecke (Art, Boden, Vorhandensein von Weichen usw.), des Gebäudes (Art des Gebäudes, Art der Decken, Entfernung zu den Gleisen usw.) und der Daten des Schienenverkehrs (Zugkategorien, Geschwindigkeiten, Laufzeiten usw.) zu integrieren, um alle grundlegenden Informationen zu erhalten, die für die Charakterisierung einer Massnahme erforderlich sind.

Das Tool bietet eine optimierte Schnittstelle für eine schnelle und vollständige Verarbeitung aller Daten rund um die Überfahrt eines Zuges (siehe Kapitel 3.3). Es liefert die Ergebnisse der BEKS-Bewertungen, um die Einhaltung der Richtwerte nachzuweisen.

Dank der Funktionalitäten der Datenbank ist es möglich, Metaanalysen durchzuführen, indem die gewünschten Parameter ausgewählt und auf die verfügbaren Daten zurückgegriffen wird. Die grosse Datenmenge gewährleistet eine fundierte und detaillierte Analyse und liefert damit zuverlässige Werte für den Einsatz in VIBRA-1 und 2 Berechnungsmodellen.

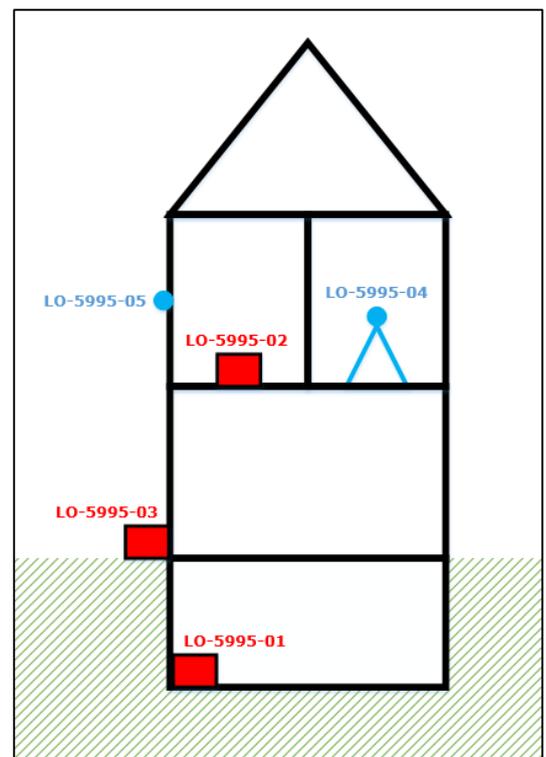
Derzeit ermöglicht die Datenbank die Charakterisierung jedes Messpunktes nach **mehr als 10 Parametern**. Insgesamt stehen **mehr als 60 Messstellen** (alle Typen kombiniert) für **insgesamt 3350 Züge** zur Verfügung.

3.2. Struktur

Die in VIBRail eingegebenen Daten sind als "Projekt" strukturiert. Jedes Projekt umfasst ein bis zwei Gebäude, für die 5 Arten von Punkten zur Verfügung stehen:

- Erschütterungen an den Fundamenten (nach VSS SN 640 312);
- Erschütterungsimmissionen (nach DIN 4150-2);
- Erschütterungsemissionen;
- Körperschall;
- Luftschall.

Abbildung 1 – Erschütterungs- (rot) und Lärm- (blau) Messstellen



Jedes Projekt integriert auch die Trasse- und Gebäudeparameter. Für erstere werden Informationen wie der Abstand zu Gleisen und Weichen, die Typologie der Strecke und des Bodens der Eisenbahn oder das Vorhandensein von Lärmschutzwänden berücksichtigt. Für letztere ermöglicht die Datenbank die Charakterisierung der Typologie des Gebäudes und der Decken.

Zusätzlich zu diesen Informationen stellt die SBB Daten über den Schienenverkehr während des Messzeitraums zur Verfügung. Die Passage von Bahnkonvois wird in der Tat genau überwacht, und alle für die Charakterisierung von Zügen notwendigen Informationen (Richtung, Kategorie, Länge, etc.) stehen zur Analyse zur Verfügung.

3.3. Datenbearbeitung

Ausgangspunkt für die Datenverarbeitung ist die Überfahrt eines Zuges. Jede einzelne Durchfahrt wird durch SBB-Informationen dokumentiert und die von den Messgeräten gesammelten Daten können damit verknüpft werden. Diese Zuordnung erfolgt automatisch, basierend auf den Laufzeiten der Konvois und den gemessenen Ereignissen. Abbildung 2 veranschaulicht die Ergebnisse der Zuordnung der Daten zu:

- Punkt 1: SBB-Daten zum Bahnkonvoi;
- Punkt 2: Erschütterungsemissionen;
- Punkt 3: Erschütterungsimmissionen (nach DIN 4150-2);
- Punkt 4: Erschütterungsimmissionen (nach VSS SN 640 312);
- Punkt 5: Körperschall;
- Punkt 6: Luftschall.

Durch die globale Visualisierung aller Messdaten kann der Spezialist sehr schnell die Konsistenz und Qualität der Messwerte überprüfen. So ist es beispielsweise möglich, die Angemessenheit zwischen Zugtypologie und Messergebnissen zu beurteilen oder das Vorhandensein möglicher Signalstörungen zu untersuchen. Alle Messungen, die nicht den Qualitätskriterien entsprechen, können beseitigt werden, entweder global (Zug nicht berücksichtigt) oder an jedem Messstandort.

Vom Hauptbildschirm aus ist es möglich, auf die Details der verschiedenen Messsignale zuzugreifen, einschliesslich der Terzspektren, wie in Abbildung 3 dargestellt, so dass jede Messung überprüft und bei Bedarf vertieft werden kann.

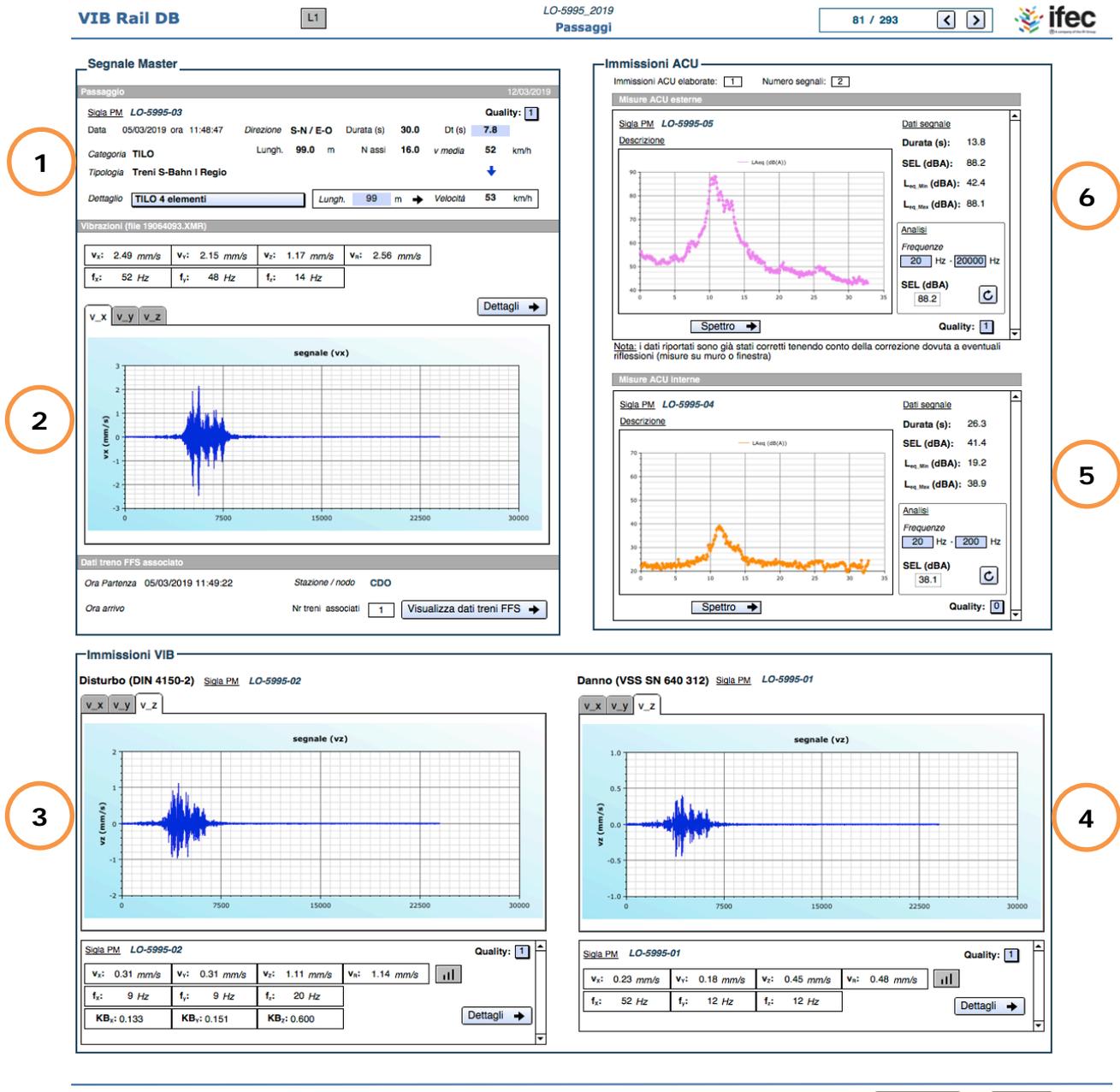


Abbildung 2 - Datenverarbeitungsbildschirm VIBRail

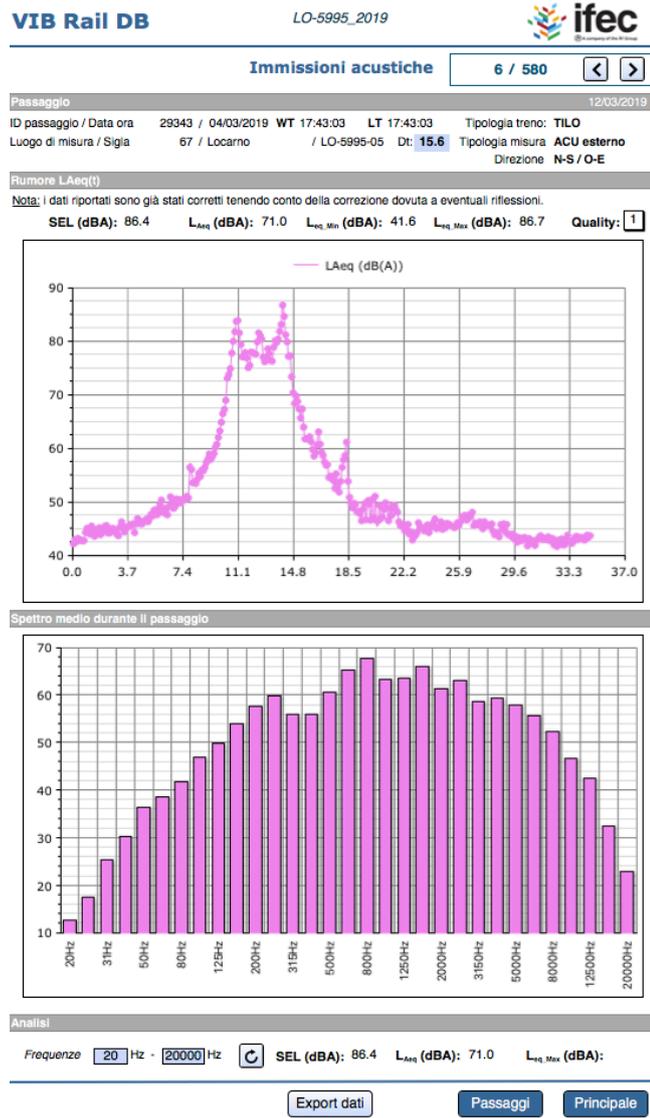


Abbildung 3 - Darstellung der Details der Messungen (hier Terzbänder)

Während der Datenbearbeitung kann jeder Zug detailliert überwacht werden und die Endergebnisse basieren somit auf einer breiten und dokumentierten Basis. Diese Ergebnisse ermöglichen es, die Einhaltung der Richtwerte für alle gemessenen Mengen und insbesondere die Einhaltung des BEKS (für ein bestimmtes Verkehrsszenario) zu überprüfen. Sie sind nach dem Auswertungszeitraum (Tag/Nacht) gegliedert und können detailliert analysiert werden, z.B. nach der Kategorie des Bahnkonvois.

VIB Rail DB

Dettagli calcolo:
Test calcolo



Data 23/04/2019

Descrizione

Traffico ferroviario giornaliero

Giorno	TILO		Passengeri		Merci		Treni di servizio	
	N-S/O-E	S-N/E-O	N-S/O-E	S-N/E-O	N-S/O-E	S-N/E-O	N-S/O-E	S-N/E-O
Giorno	30.50	30.50	0.00	0.00	2.25	2.25	0.00	0.00
Notte	4.00	4.00	0.00	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00
Notte (1h max)	1.00	1.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00

Calcola

ACU esterna

Sigla PM	Direzione	TILO		Passengeri		Merci		Treni di servizio		Livello di valutazione Lr [dB(A)]	
		N. segnali	SEL medio dB(A)	N. segnali	SEL medio dB(A)	N. segnali	SEL medio dB(A)	N. segnali	SEL medio dB(A)	Giorno	Notte
RA-0777_05	N-S/O-E	96	80.32			4	90.32	9	85.62	46.9	31.4
	S-N/E-O	91	78.29			3	91.13	8	80.46		
RA-0778_05	N-S/O-E	96	84.78			4	93.82	9	89.18	50.8	35.4
	S-N/E-O	91	82.73			3	94.51	8	86.06		

ACU interna

Sigla PM	Direzione	TILO		Passengeri		Merci		Treni di servizio		L _{max} KS [dB(A)]	
		N. segnali	SEL medio KS dB(A)	N. segnali	SEL medio KS dB(A)	N. segnali	SEL medio KS dB(A)	N. segnali	SEL medio KS dB(A)	Giorno	Notte (1h)
RA-0777_04	N-S/O-E	84	49.22			4	52.93	8	51.63	19.5	19.9
	S-N/E-O	80	47.24			3	53.77	7	47.58		
RA-0778_04	N-S/O-E	89	49.28			4	50.50	8	48.99	21.9	20.4
	S-N/E-O	86	52.71			3	51.24	8	44.38		

VIB danni

Sigla PM	TILO		Passengeri		Merci		Treni di servizio		v _r max [mm/s]
	N. segnali	v _r max [mm/s]	N. segnali	v _r max [mm/s]	N. segnali	v _r max [mm/s]	N. segnali	v _r max [mm/s]	
RA-0777_01	187	0.40			7	0.18	17	0.12	0.40
RA-0778_01	187	0.37			7	0.15	17	0.18	0.37

VIB disturbo

Sigla PM	Direzione	TILO		Passengeri		Merci		Treni di servizio		Livello di valutazione KBFT _r	
		N. segnali	KBFT _m	N. segnali	KBFT _m	N. segnali	KBFT _m	N. segnali	KBFT _m	Giorno	Notte
RA-0777_02	N-S/O-E	96	0.047			4	0.074	9	0.072	0.010	0.005
	S-N/E-O	91	0.054			3	0.118	8	0.052		
RA-0778_02	N-S/O-E	96	0.087			4	0.122	9	0.133	0.020	0.010
	S-N/E-O	91	0.125			3	0.139	8	0.082		

Abbildung 4 - Überprüfung der Immissionswerte für Luftschall (ACU esterna), Körperschall (ACU interna), Erschütterungsimmissionen nach VSS SN 640 312 (VIB danni) und Erschütterungsimmissionen nach DIN 4150-2 (VIB disturbo);

3.4. Analyse und Vertiefung

Ein wichtiger Vorteil eines datenbankbasierten Messerfassungssystems ist, dass alle Ergebnisse jederzeit verfügbar sind. Dies ermöglicht es, Analysen und vertiefende Untersuchungen in grossem Umfang durchzuführen.

Diese vertieften Untersuchungen können zunächst die Daten einer bestimmten Messstelle mit einer Auswahl von Vorbeifahrten betrachten, die bestimmten Kriterien entsprechen (z. B. Mindestgeschwindigkeit, bestimmte Typologie, etc.). Die ausgewählten Daten können zu Vergleichszwecke oder zur Bildung von Mittelwerten, wie beispielsweise Emissionsspektren, verwendet werden.

Um den Datenvergleich zu ermöglichen, ist es notwendig, die Messergebnisse zu standardisieren. Diese Standardisierung erfolgt über die Entfernung vom Messpunkt zur Strecke (in

einer Entfernung von 8 m definiert), über die Zuggeschwindigkeit (auf 80 km/h definiert) und über die Länge der Konvois (Anzahl Wagen, die für eine bestimmte Kategorie von Zügen definiert sind).

VIBRail verfügt über ein Filtersystem, mit dem die zu analysierenden Daten dynamisch auswählen kann. Die Filter ermöglichen die Wahl des Gleistyps (Gleis mit oder ohne Schotter, Schwellentyp, Lärmschutzwände, Kurven usw.), der Gebäudeart (Deckentyp, Resonanzfrequenz usw.), der Zugart (Typologie, Geschwindigkeit usw.). Abbildung 5 veranschaulicht den Filterdefinitionsbildschirm mit der Möglichkeit, Parameter und/oder Messstandorte von Interesse auszuwählen.

VIB Rail DB
Analisi spettri

Criteria di ricerca per analisi spettro medio

Oggetto misura*:

Tipologia tracciato:

Filtro	Valore
<input type="checkbox"/>	ghiaione
<input type="checkbox"/>	presenza di ripari fonici
<input type="checkbox"/>	tracciato in curva
<input type="checkbox"/>	presenza di scambi
<input type="checkbox"/>	seniore posato su paletto

Categoria treni:

Tipologia treni:

Direzione:

Sigla punti di misura:

<input type="checkbox"/> AR-0836_03	<input type="checkbox"/> GI-0865_03
<input type="checkbox"/> AR-1120_03	<input type="checkbox"/> GI-3681_03
<input type="checkbox"/> AR-1131_03	<input type="checkbox"/> GI-4207_03
<input type="checkbox"/> BE-1211_01	<input type="checkbox"/> GO-0161_03
<input type="checkbox"/> BE-1313_03	<input type="checkbox"/> LO-4254_03
<input type="checkbox"/> BE-2494_03	<input type="checkbox"/> LO-5928_03
<input type="checkbox"/> BE-2656_03	<input type="checkbox"/> MA-0003_03
<input type="checkbox"/> BE-2997_03	<input type="checkbox"/> ME-0547_03
<input type="checkbox"/> BI-0461_03	<input type="checkbox"/> MI-1740_03
<input checked="" type="checkbox"/> BI-3621_03	<input type="checkbox"/> OS-0796_03
<input checked="" type="checkbox"/> BI-3621_1503	<input type="checkbox"/> OS-0796_1503
<input checked="" type="checkbox"/> CA-1198_03	<input type="checkbox"/> PA-0243_03
<input type="checkbox"/> CA-1198_1503	<input type="checkbox"/> PA-0244_03
<input checked="" type="checkbox"/> CL-2256_03	<input type="checkbox"/> PA-0617_03
<input type="checkbox"/> CL-2256_1503	<input type="checkbox"/> RA-0778_03
<input checked="" type="checkbox"/> CR-0726_03	
<input type="checkbox"/> CR-0726_1503	
<input type="checkbox"/> GI-0359_03	

Procedura di normalizzazione degli spettri*

Distanza (r): v proporzionale a 1/r per tutte le frequenze
Velocità (G): v proporzionale a G per tutte le frequenze

$$v(f) \propto \left(\frac{G}{G_0}\right)^{h(f)} \cdot \left(\frac{r_0}{r}\right)^{m(f)} \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Distanza norm. (r₀): m

Velocità norm. (G₀): km/h

Lunghezza treno per norm. (l₀): m

f [Hz]	1	1.25	1.6	2	2.5	3.1	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315
h	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
m	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Abbildung 5 - Definition von Filtern für eine Meta-Analyse

Auf der Grundlage der getroffenen Entscheidungen ist es möglich, auf Informationen über alle Züge – die der Suche entsprechen – zuzugreifen. Dabei werden Angaben zu den Emissionsspektren in Terzoktaven, den bestimmenden Größen sowie weiteren Messparametern (Zuggeschwindigkeit, Richtung usw.) geliefert. So ist es möglich, Standard gefilterte Züge miteinander zu vergleichen, aber auch Mittelwerte (insbesondere spezifische Emissions- oder Immissionsspektren) zu erhalten. Eine statistische Auswertung der Werte ist ebenfalls möglich, z. B. durch Berechnung der Perzentile (10 und 90) jedes Terzbands.

3.5. Anwendungsbeispiel

Die Funktionalitäten von VIBRail wurden namentlich während einer Studie für die SBB zur Untersuchung von Emissions- und Immissionsspektren verschiedener Zugtypen genutzt.

Für diese Analyse wurden insgesamt 18 Messstellen berücksichtigt. Die exakten Messpunkte wurden anhand der verschiedenen Parameter in der Datenbank detailliert charakterisiert. Auf dieser Grundlage konnten verschiedene Auswertungen der Daten durchgeführt werden, wie z.B. der Vergleich zwischen den Emissionen ähnlicher Züge (Abbildung 6), der Vergleich der durchschnittlichen Emissionsspektren von Zugtypen für einen bestimmten Standort (Abbildung 7) oder der Vergleich der Emissionen mit bestimmten Parametern (z.B. Art der Schwelle, Abbildung 8).

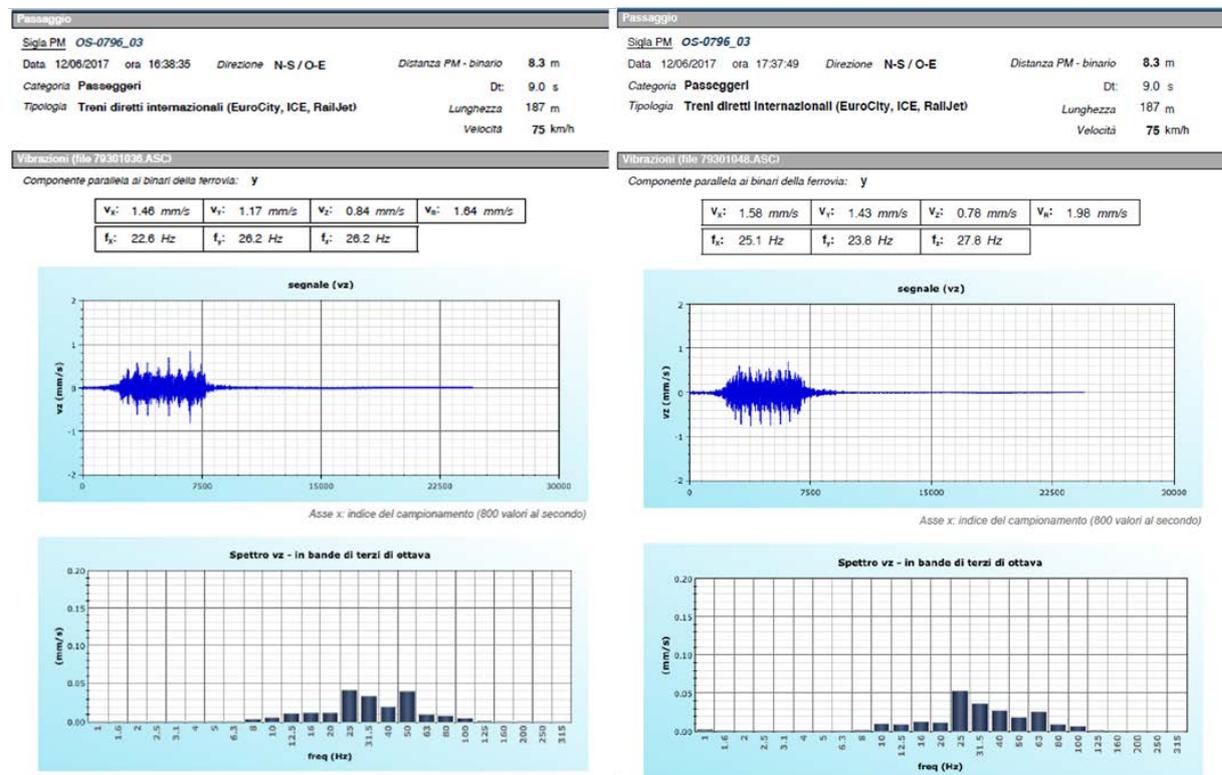


Abbildung 6 - Vergleich von zwei ähnlichen Vorbeifahrten

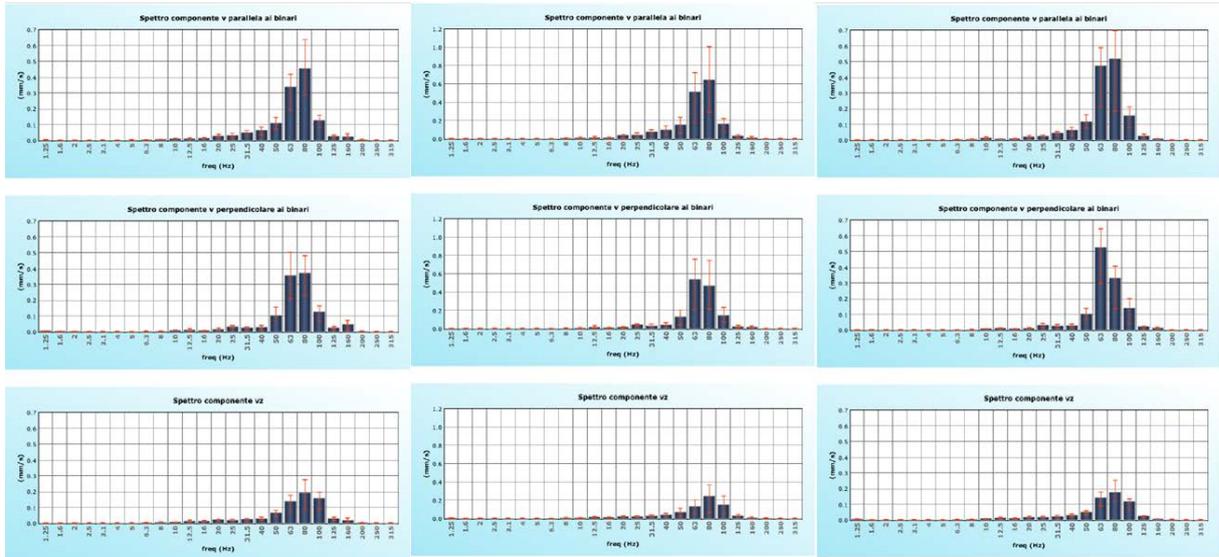


Abbildung 7 - Vergleich von Emissionsspektren von verschiedenen Zugtypen für eine Messstelle

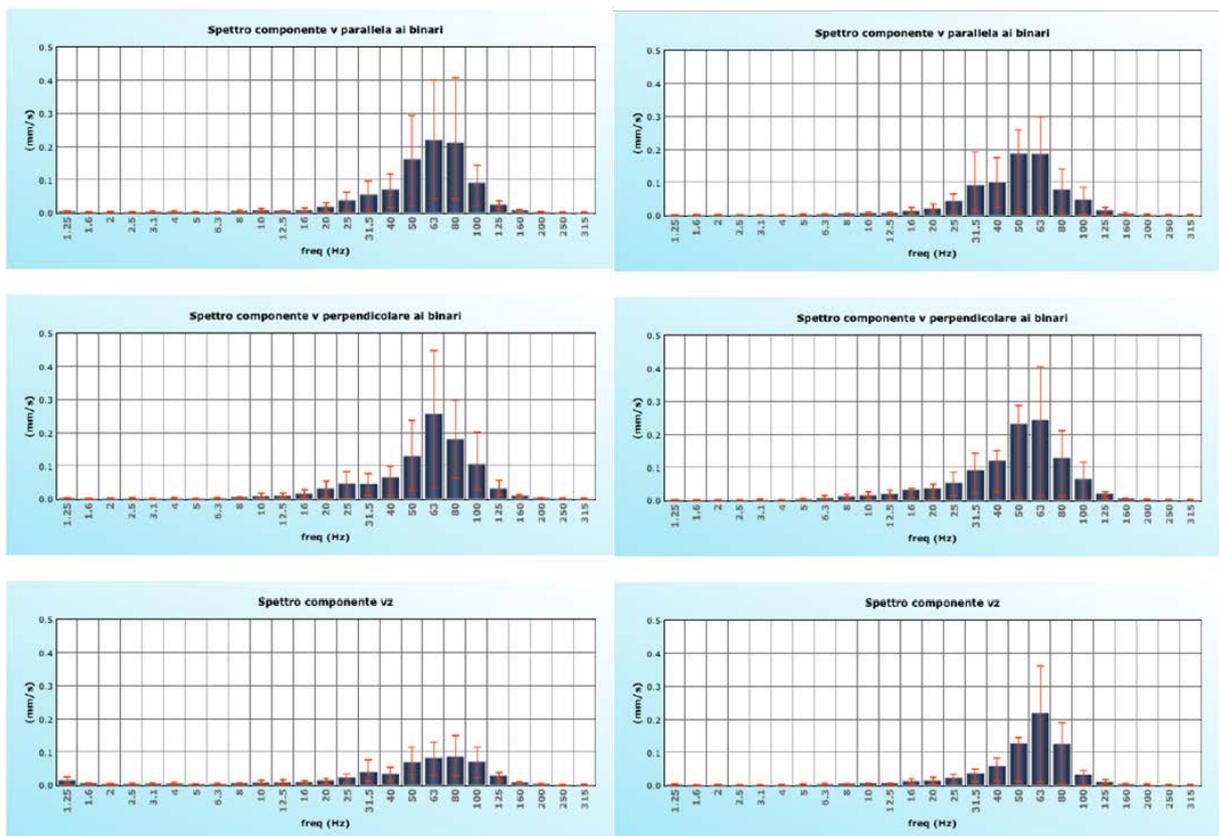


Abbildung 8 - Vergleich der Spektren von Betonschwellen (links) und Holzschwellen (rechts)

3.6. Zukünftige Entwicklungen

Derzeit werden zahlreiche Möglichkeiten für die Entwicklung von VIBRail und seinen Funktionalitäten untersucht.

Ein erster Punkt betrifft die Erweiterung auf zusätzliche Datentypen. Dazu gehört z.B. die Integration von Webcam-Aufnahmen, die in einigen Fällen bei Messkampagnen eingesetzt werden. Insbesondere ermöglichen sie eine noch genauere Charakterisierung der Züge und können bei der Verfeinerung der Analyse sehr nützlich sein, z.B. um die tatsächliche Typologie eines Zuges zu überprüfen oder um die Güterzüge nach Wagentyp (Container, Tank, Leerraum usw.) zu differenzieren.

Die Möglichkeiten der Analyse können auch erweitert werden, z.B. durch die Verfeinerung der Normalisierung (Differenzierung nach Frequenzen, Bewertung von Ballast vs. Boden auf die Ausbreitung, etc.). Die statistische Relevanz der Ergebnisse wird sich zudem verbessern, wenn neue Daten hinzugefügt werden.

Ein weiteres zu untersuchendes Gebiet sind Daten, die für die Modellierung mit VIBRA-1-2-3 nützlich sind, z.B. zur Bestimmung spezifischer Übertragungsfunktionen. Gezielte Messkampagnen zur Bestimmung von Interessensgrößen (z. B. auf einem Abschnitt entsprechend einer zukünftigen Strecke) oder zur Überprüfung eines bestimmten Parameters (z. B. bestimmter Schientyp) sind ebenfalls äusserst aufschlussreich und dienen dazu, die Anforderungen zu erfüllen. Solche Untersuchungen erlauben es, die VIBRA-1-2-3-Modelle für den Einzelfall optimal zu konfigurieren.

4. Schlussfolgerungen

VIBRail ist eine relationale Datenbank, die eine schnelle und zuverlässige Bearbeitung von Erschütterungs- und Körperschallmessdaten ermöglicht. Sie verfügt über Funktionen, die eine detaillierte Analyse erlauben, dies sowohl für bestimmte Messorte als auch für eine Reihe von Messpunkten mit ähnlichen Eigenschaften. Meta-Analysen, welche auf einer Vielzahl von verfügbaren und bedarfsgerecht gefilterten Daten basieren, können eine konkrete Unterstützung für die Charakterisierung von Emissionen und Immissionen geben und damit die notwendigen Informationen für die Modellierung mit VIBRA-1-2-3 liefern.

Die zukünftige Entwicklung dieses Tools wird es zudem ermöglichen, seine Funktionalitäten zu erweitern, z. B. durch die Integration neuer Datentypen oder durch die Verfeinerung der Normalisierung in Metaanalysen zur Verbesserung der Qualität.

Eine Datenbank wie VIBRail ist besonders nützlich, wenn eine große Menge an qualitativ hochwertigen Daten verfügbar ist. Die Erweiterung der Datenbank ist eine Herausforderung und soll die Repräsentativität sowie die Dienstleistungen, welche die Datenbank ihren Nutzern anbieten kann, weiter verbessern.