



UNIONE EUROPEA  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



*Mitigazione dei rischi naturali per la sicurezza e la mobilità  
nelle aree montane del Mezzogiorno*

CNR-IMAA

# **Caratterizzazione strutturale di infrastrutture viarie mediante un approccio sperimentale rapido e non invasivo**

*Maria Rosaria Gallipoli, Nicola Tragni, Vincenzo Serlenga, Giuseppe Calamita, Tony Stabile, Angela Perrone*

22-23 Giugno 2023



UNIONE EUROPEA  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Estratto da: Secondo convegno annuale del progetto MITIGO - 22-23 Giugno 2023 - Sommari degli interventi e presentazioni

© 2023 Università degli Studi della Basilicata

Editrice Universosud – Potenza

ISBN 9791281551008



Pubblicazione realizzata con il cofinanziamento dell'Unione Europea – FESR, PON Ricerca e Innovazione 2014-2020.

[www.ponricerca.gov.it](http://www.ponricerca.gov.it)

## SEGNALI ACQUISITI ED UTILIZZATI PER LE ANALISI

Rumore sismico ambientale, array di velocimetri, non stop del traffico

### APPROCCIO MULTI-METODOLOGICO

**FFT - Fast Fourier Transform**

**FAS - Ampiezze Spettrali Fourier**

- Modi principali di vibrazione
- Contenuti energetici

**Horizontal To Vertical Noise Spectral Ratio**

*(Mucciarelli, 1998; Parolai et al., 2004)*

- Modi principali di vibrazione

**OMA - Analisi Modale Operativa** *(Brincker et al., 2001)*

- Modi principali di vibrazione
- Le forme modali

**Non Parametric Damping Analysis**

*(Mucciarelli & Gallipoli, 2007)*

- Valori di smorzamento equivalente

**ANDI - Deconvoluzione Interferometrica di Noise Ambientale**

*(Snieder and Safak, 2006)*

- Velocità di propagazione di onde di rumore ambientale e variazione nel tempo

**S-Trasform**

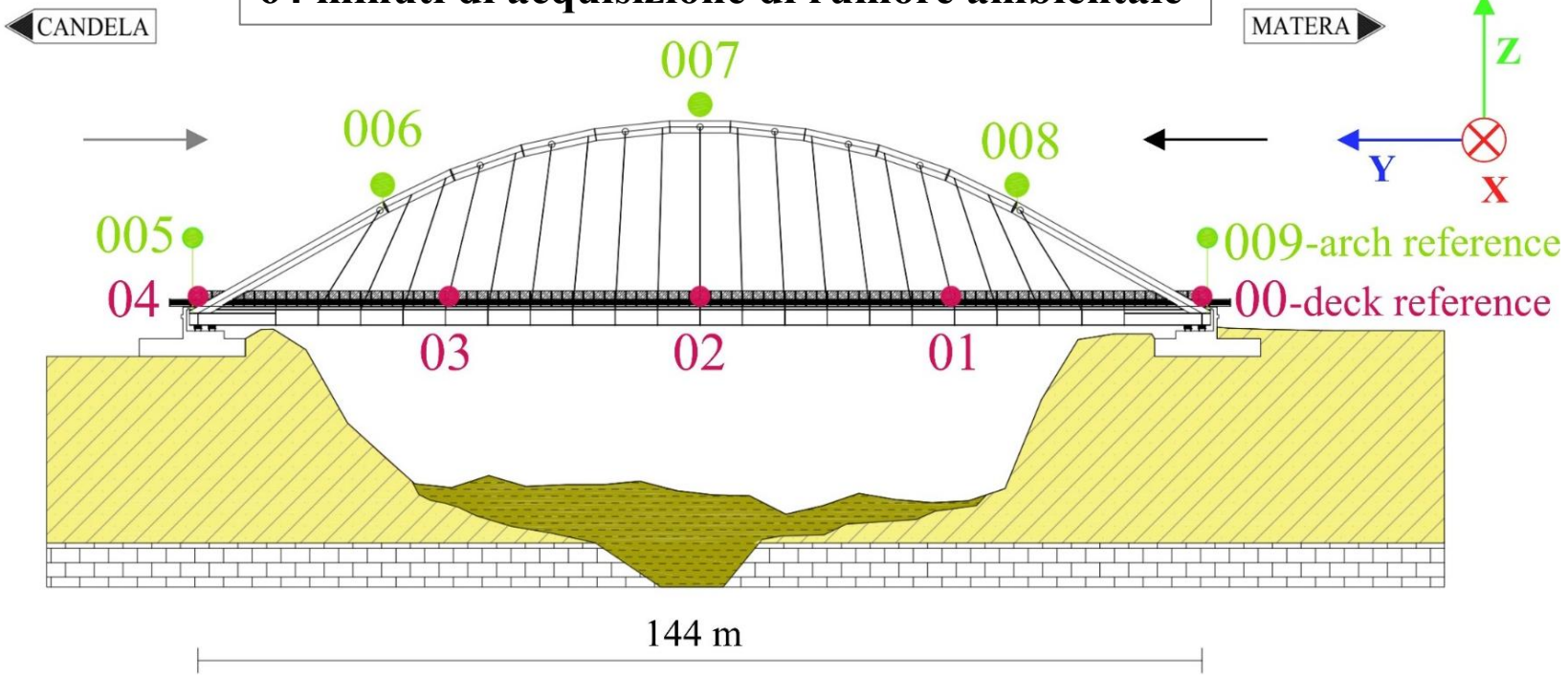
*(Stockwell et al., 1996)*

- Variazione nel tempo dei modi principali di vibrare

# Monitoraggio geofisico per la caratterizzazione dei parametri modali del Ponte Gravina (Matera)

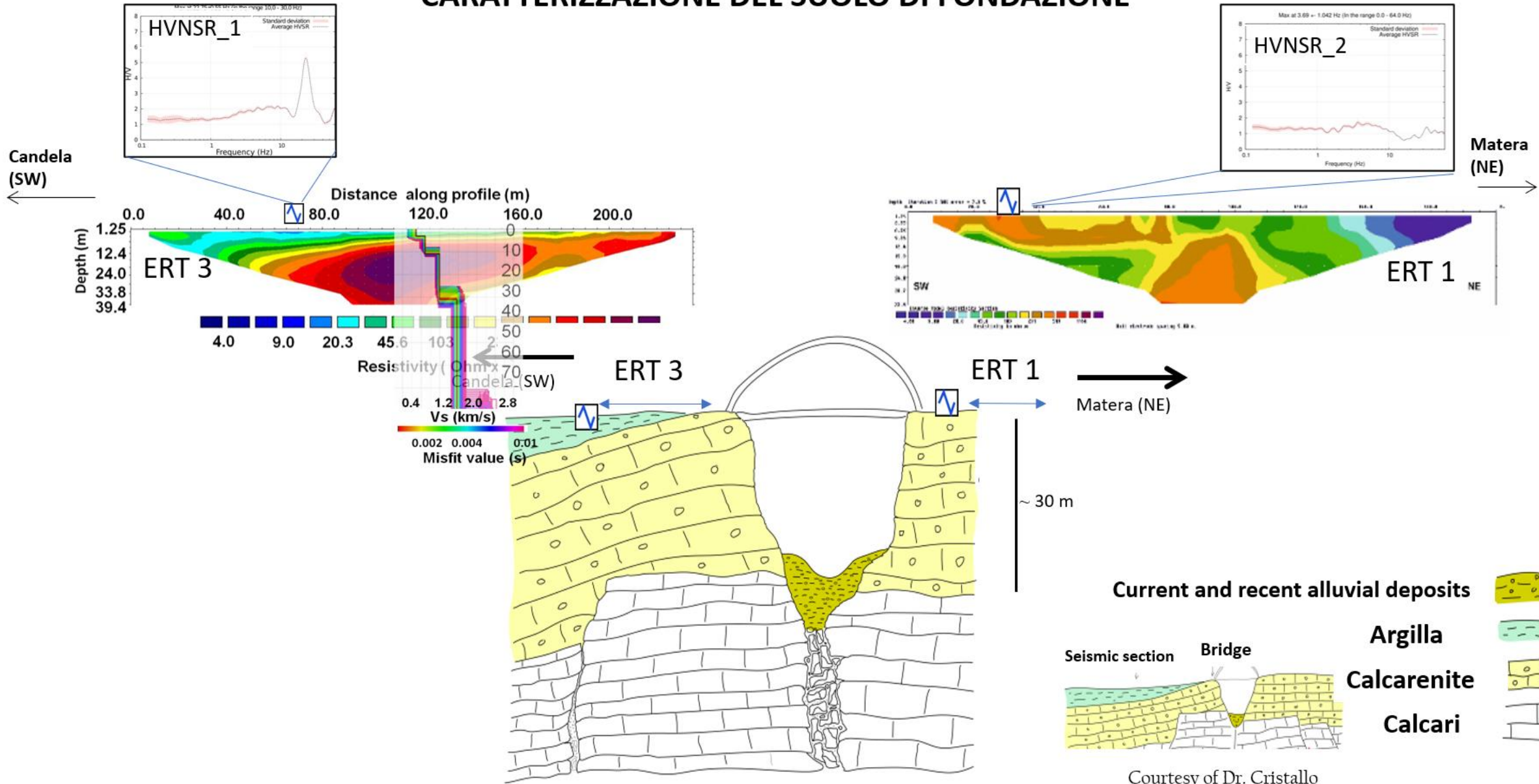


64 minuti di acquisizione di rumore ambientale



Velocimetri

## CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO DI FONDAZIONE



Courtesy of Dr. Cristallo

## IMPALCATO

## ARCO



| Modo | Direzione del moto                           | $f_{FDD}$ (Hz) |
|------|--|----------------|
| 1°   | Flessionale Verticale                        | 0.75           |
| 2°   | Torsionale Verticale/Trasversale             | 0.96           |
| 3°   | Flessionale Verticale                        | 1.35           |
| 4°   | Verticale/Trasversale Torsionale Flessionale | 1.50           |
| 5°   | Flessionale Verticale                        | 1.96           |
| 6°   | Torsionale Verticale/Trasversale             | 2.10           |

| Modo | Direzione del moto      | $f_{FDD}$ (Hz) |
|------|-------------------------|----------------|
| 1°   | Flessionale (z,y)       | 0.79           |
| 2°   | Combinato (x,y,z)       | 1.02           |
| 3°   | Combinato (x,y,z)       | 1.39           |
| 4°   | Combinato (x,y,z)       | 1.57           |
| 5°   | Combinato (x,y,z)       | 2.01           |
| 6°   | Flessionale Trasversale | 2.11           |

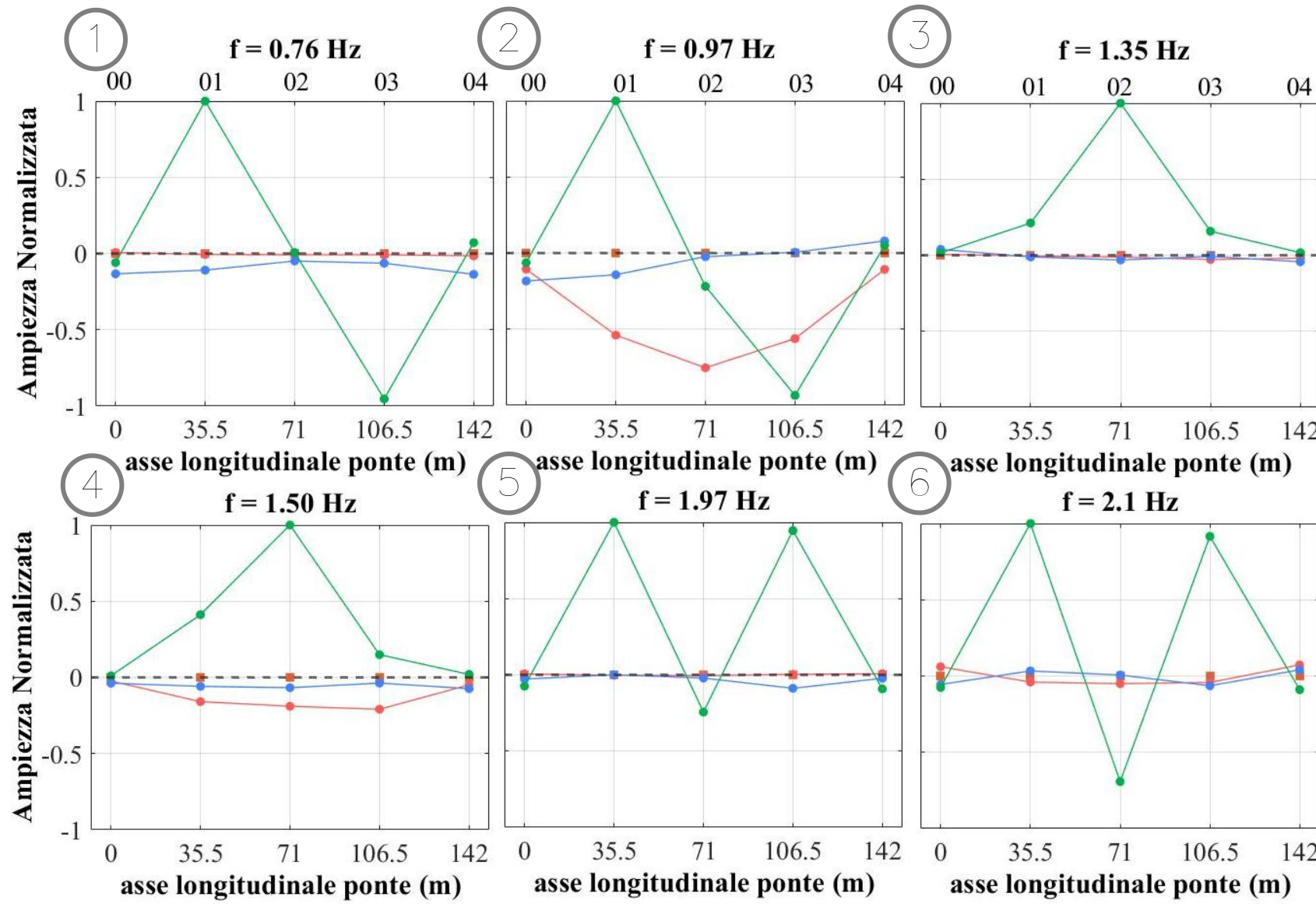
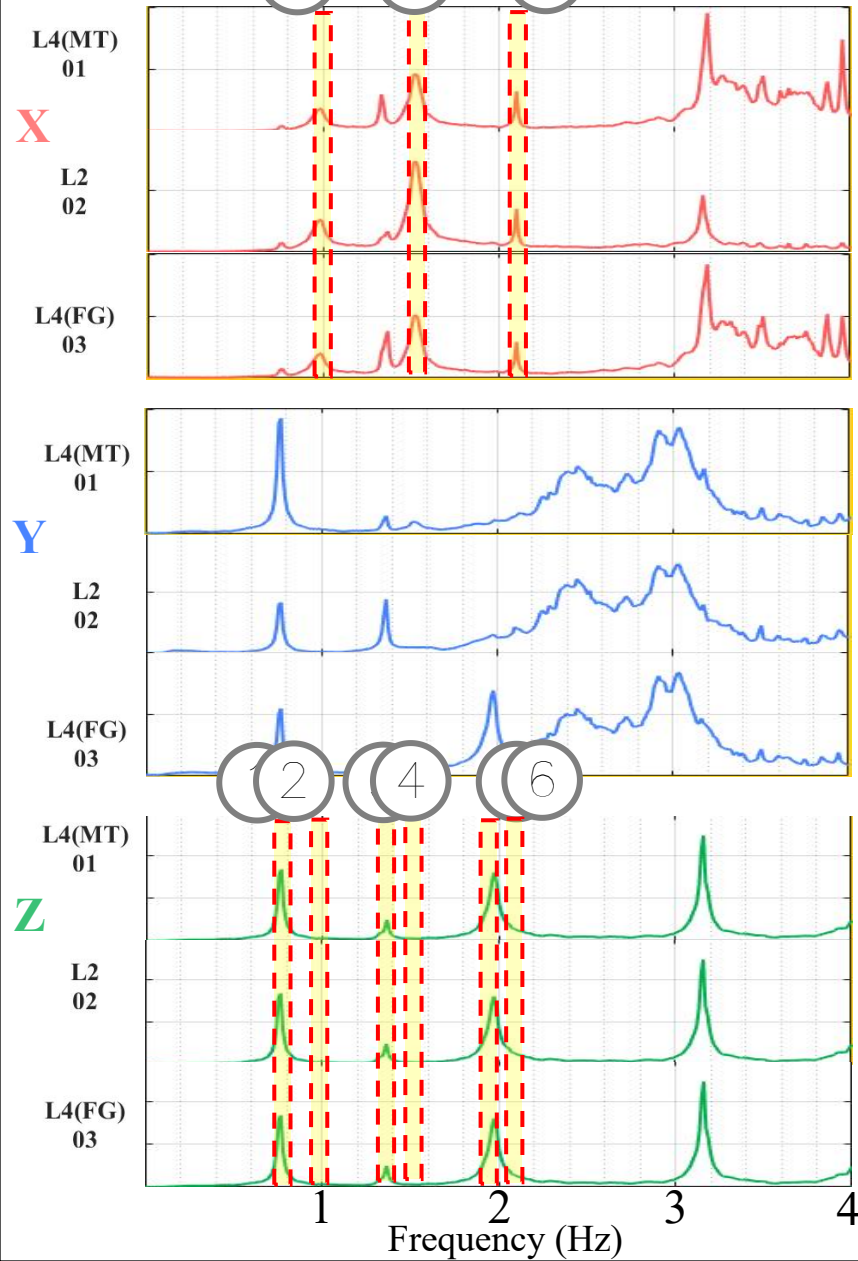
X - Trasversale

Y - Longitudinale

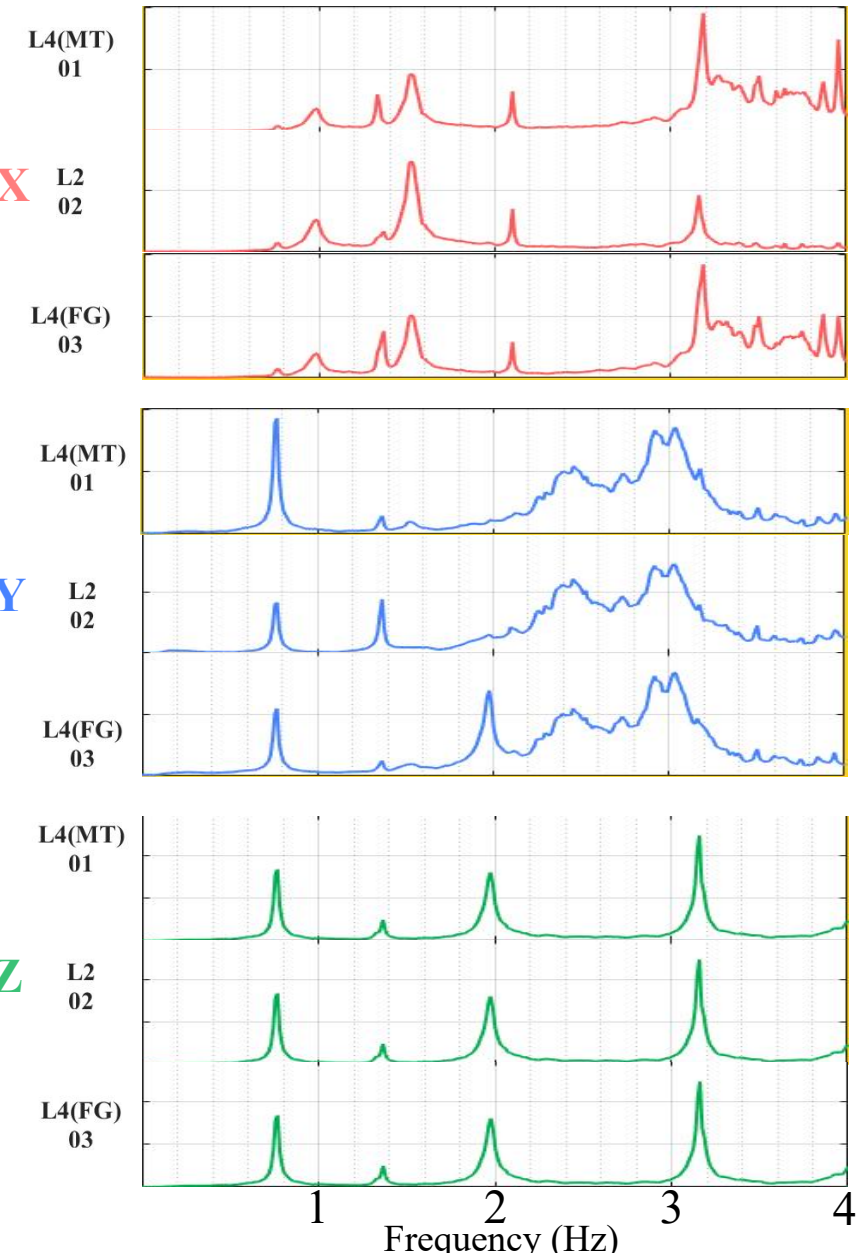
Z - Verticale

A 2 4 6 CENTRALI

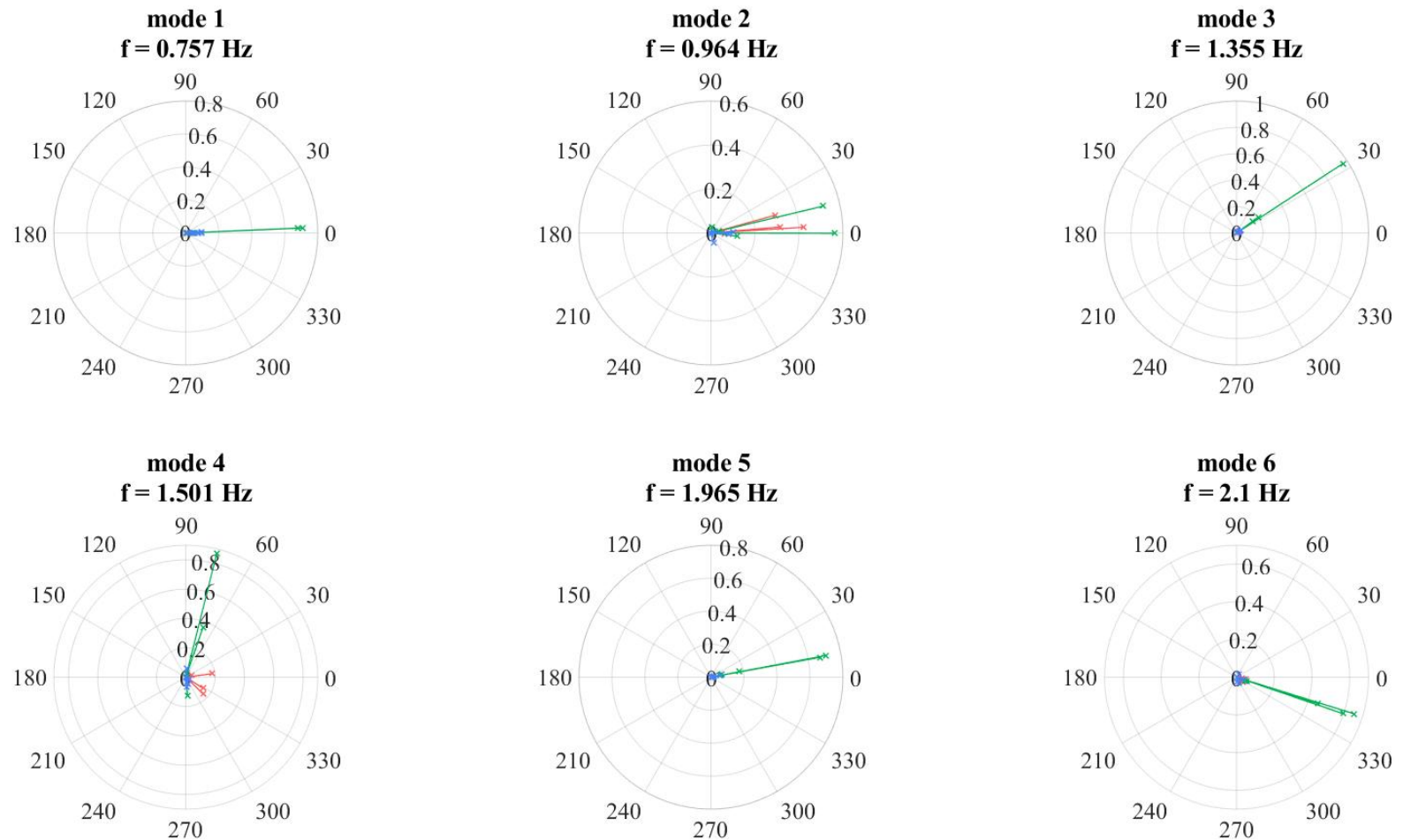
Forme modali: IMPALCATO



## AMPIEZZE SPETTRALI

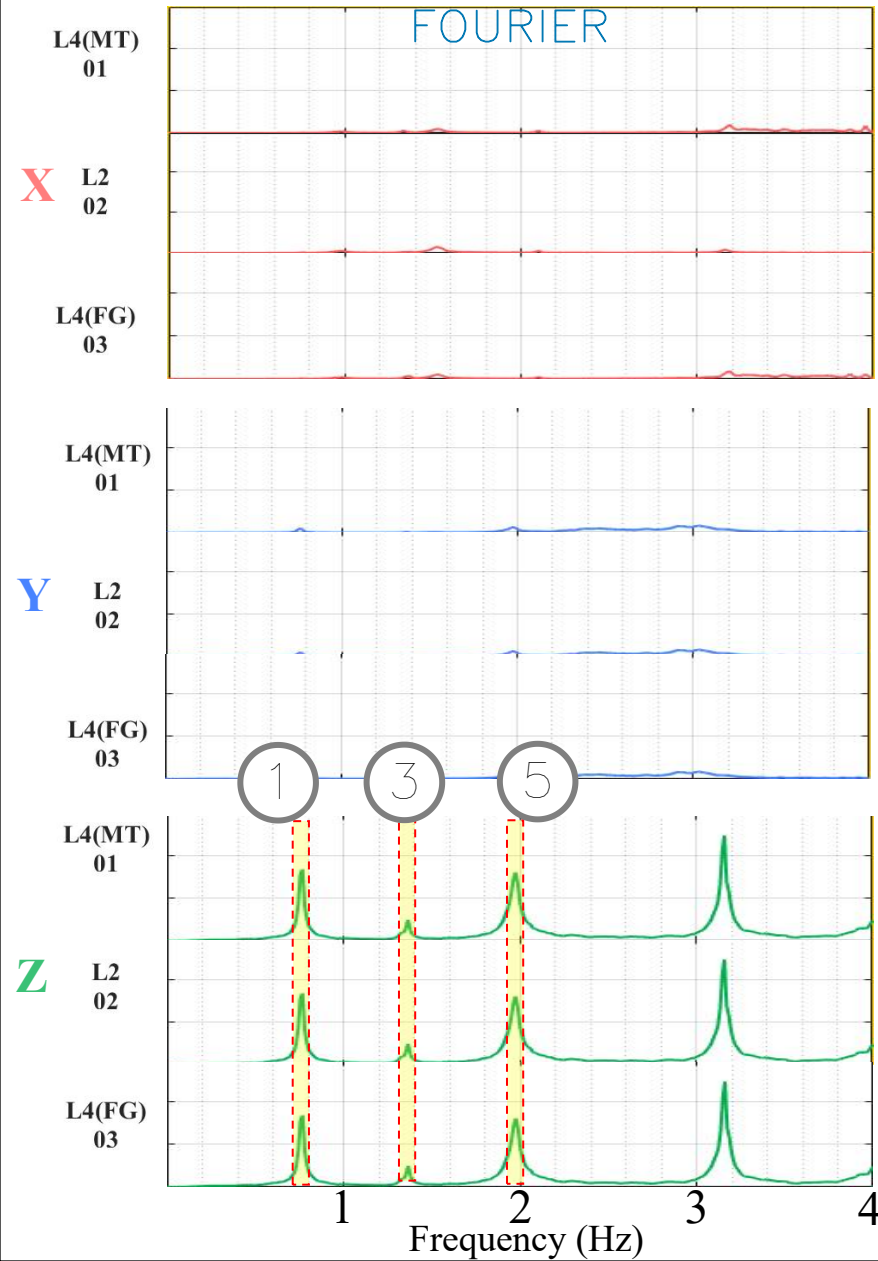


## Polar plot: IMPALCATO

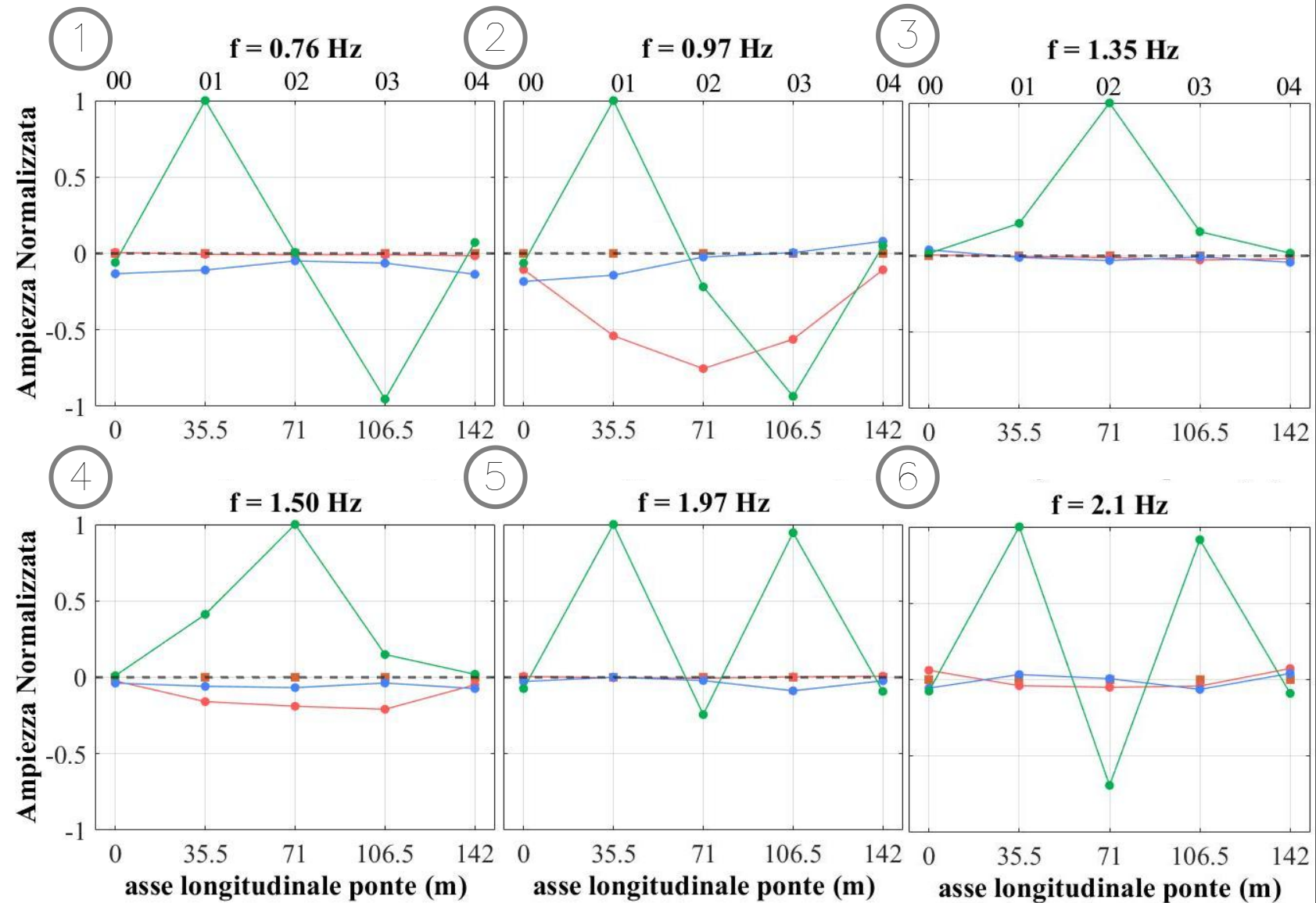


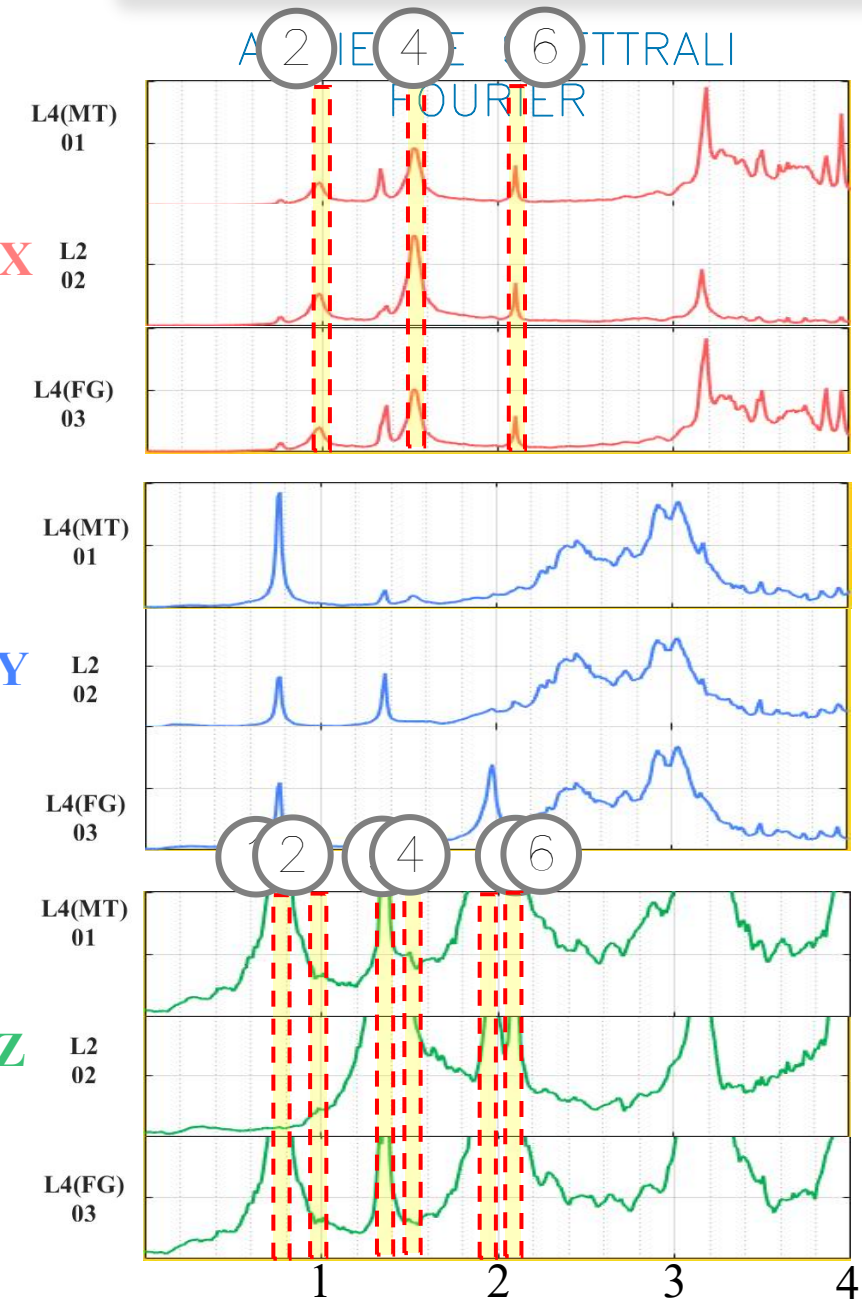


## AMPIEZZE SPETTRALI FOURIER

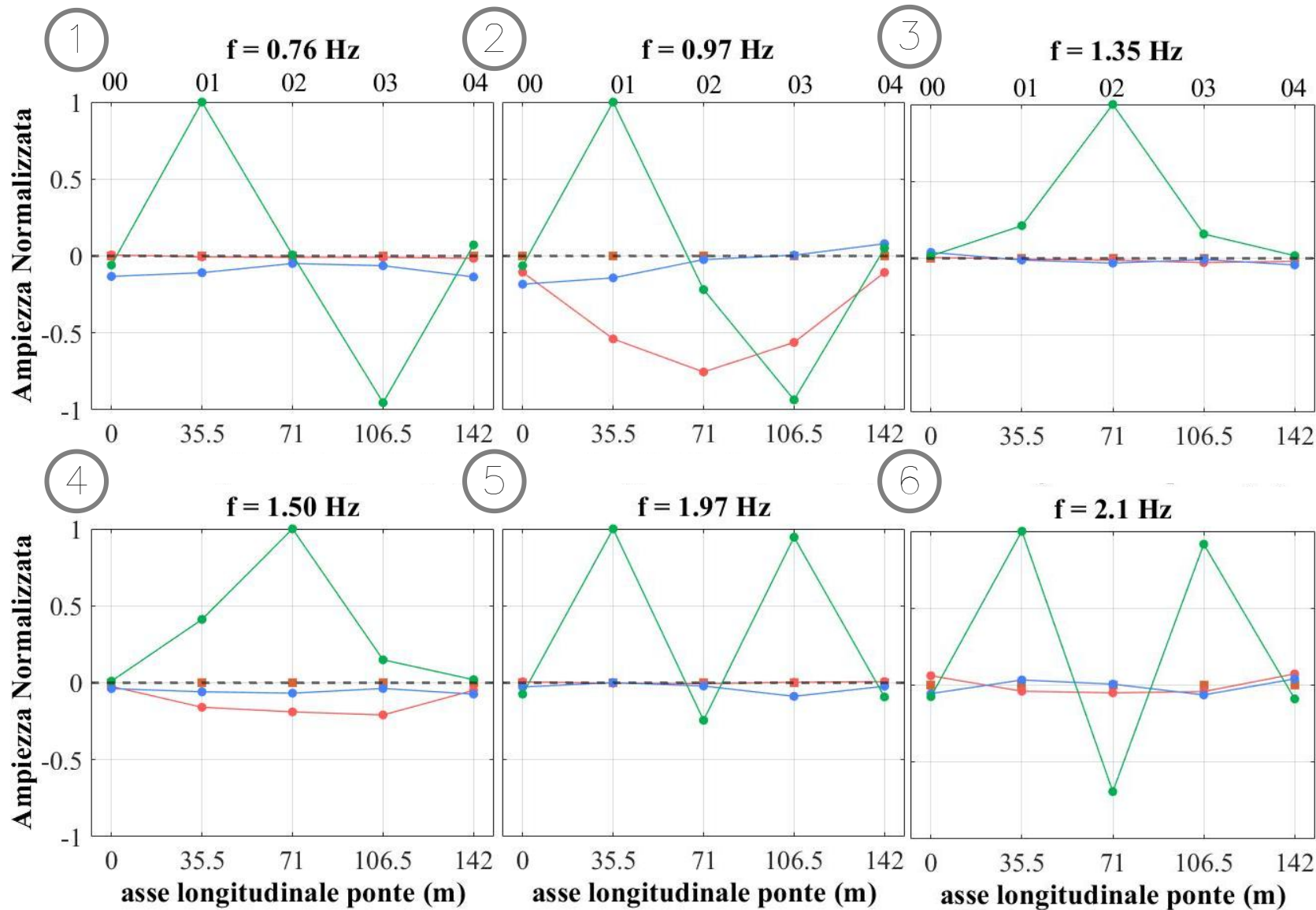


## Forme modali: IMPALCATO

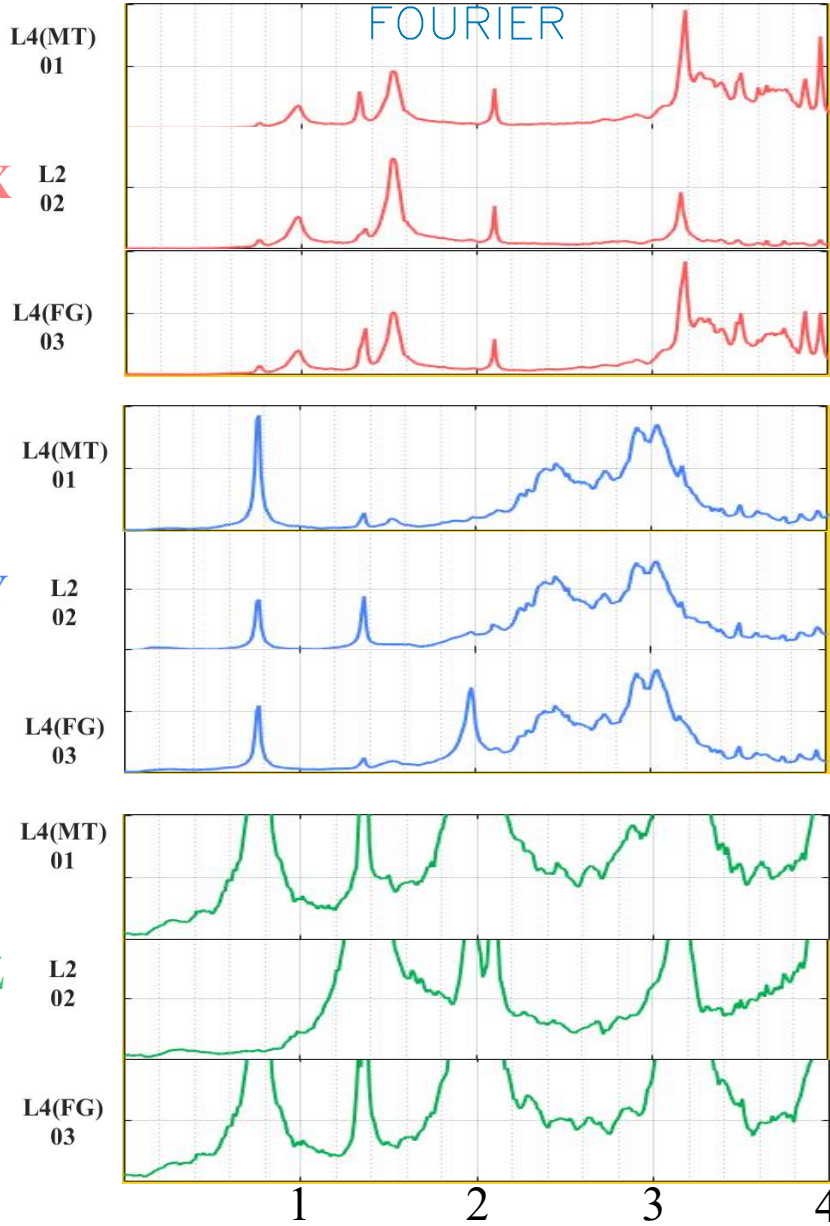




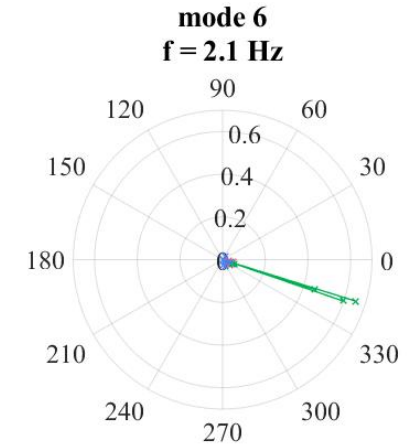
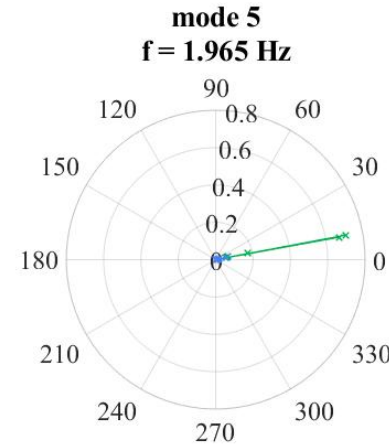
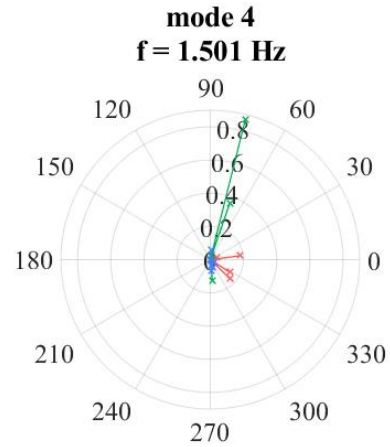
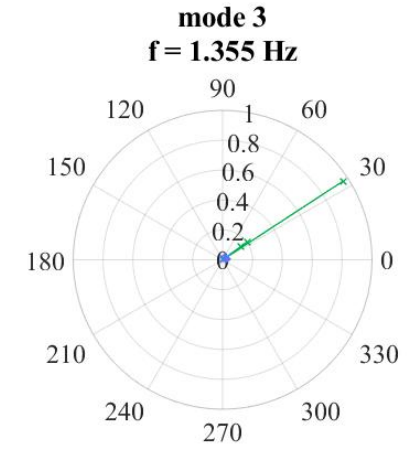
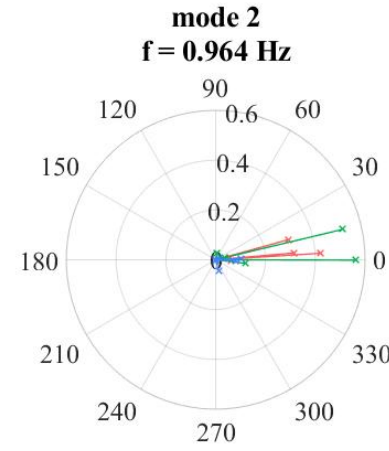
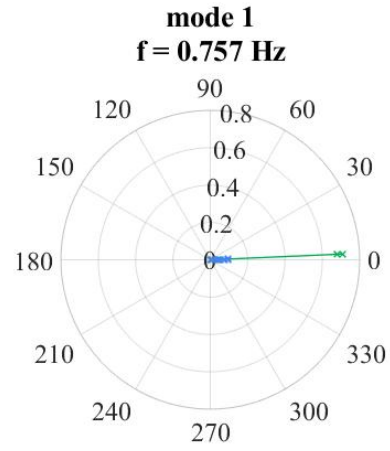
## Forme modali: IMPALCATO



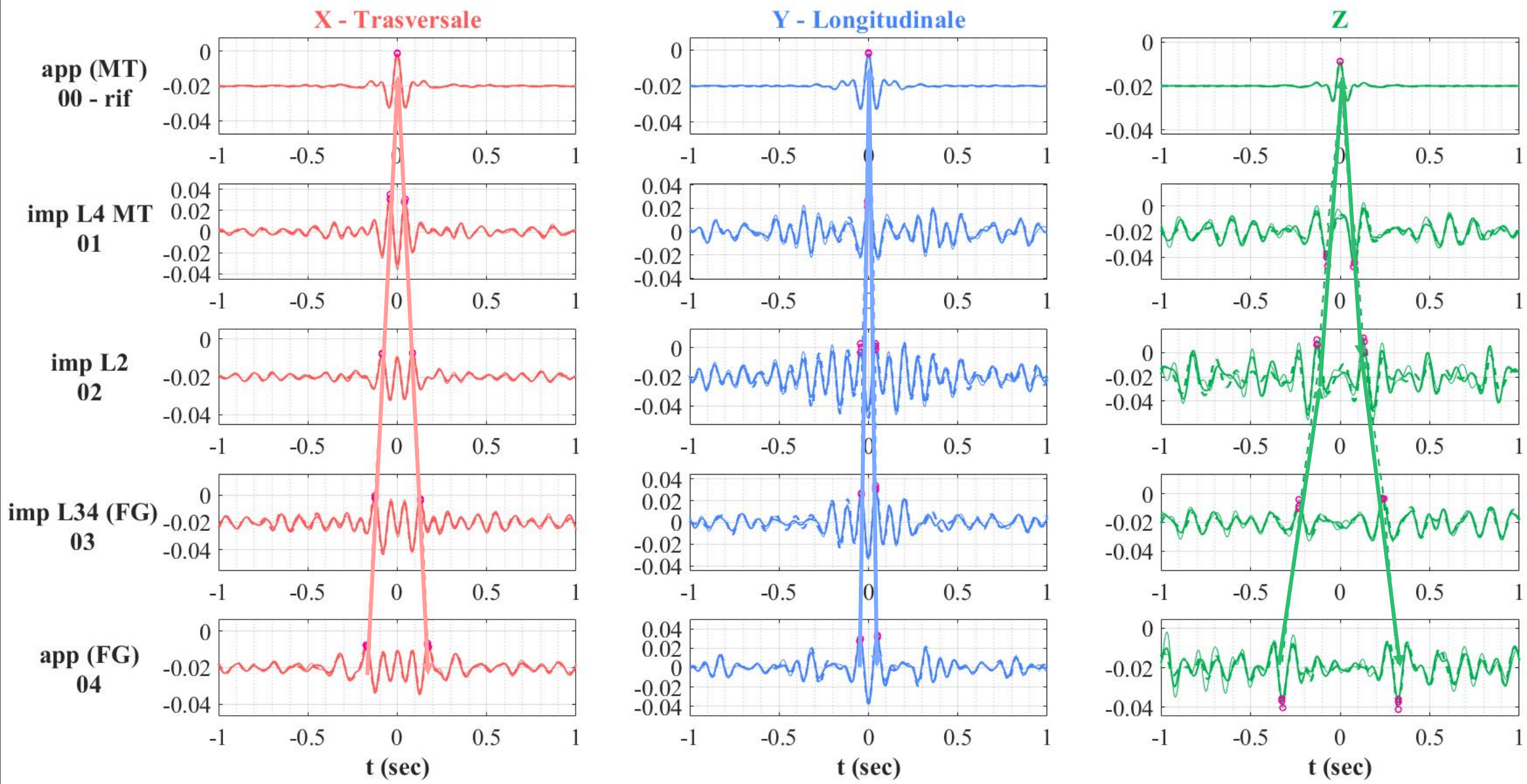
## AMPIEZZE SPETTRALI FOURIER



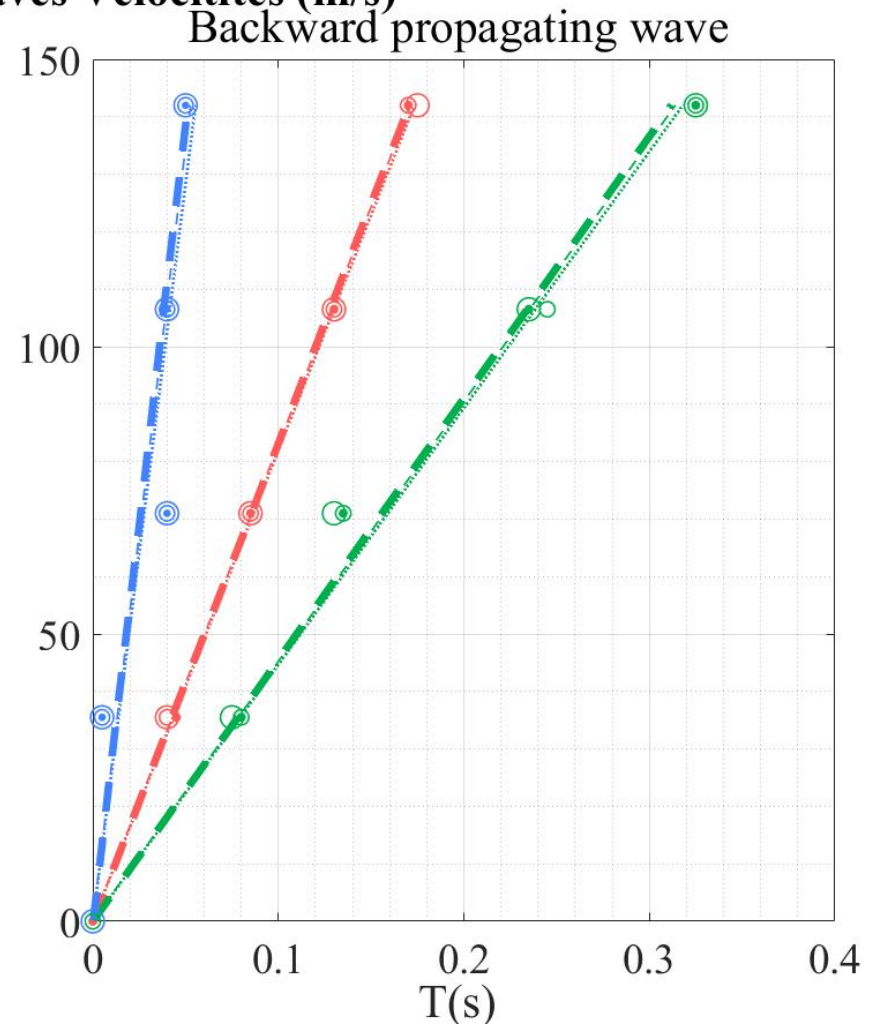
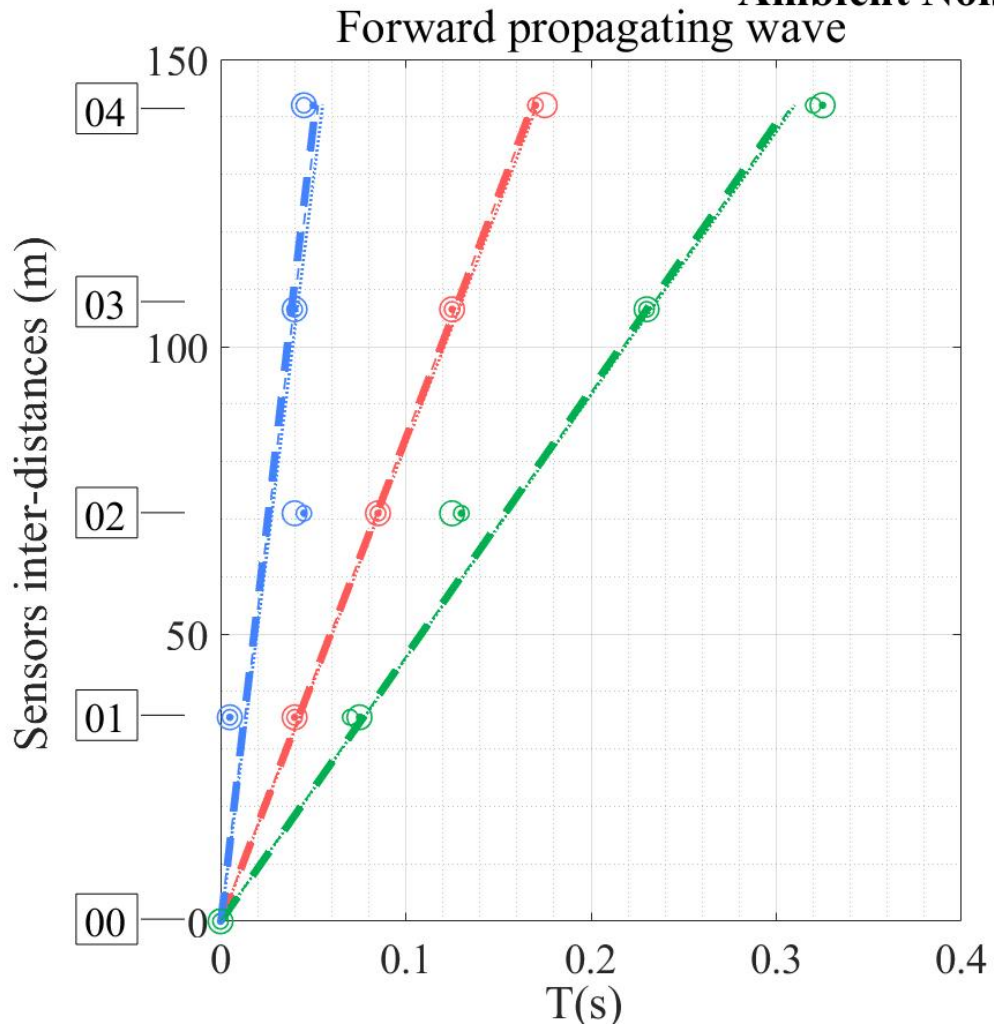
## Polar plot: IMPALCATO



## Deconvoluzione interferometrica: Impalcato



## Ambient Noise Waves Velocities (m/s)

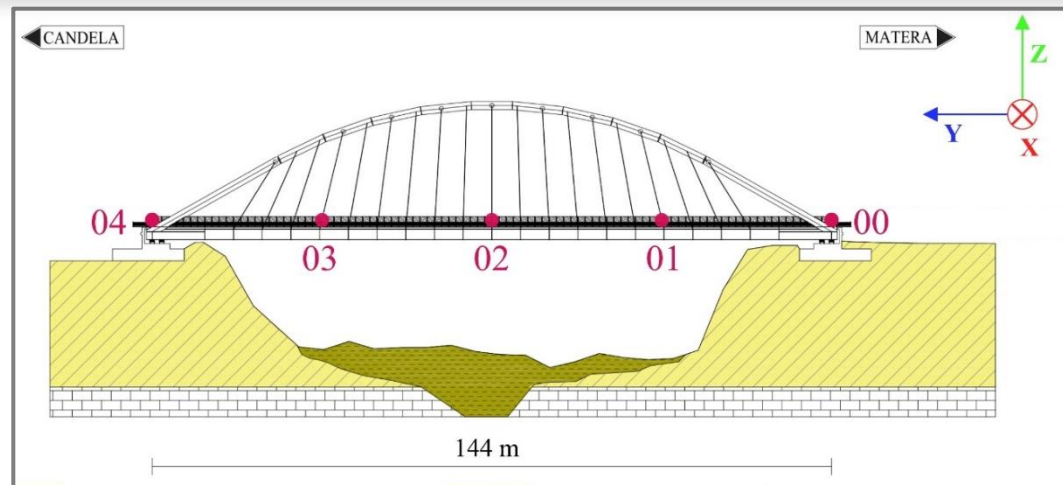


>>> forward going wave velocity (m/s) >>>

|          | <i>t1</i> | <i>t2</i> | <i>t3</i> | <i>mean</i> | <i>stad.dev</i> |
|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------------|
| <b>X</b> | 842       | 828       | 828       | 832.7       | 6.6             |
| <b>Y</b> | 2471      | 2396      | 2603      | 2490.0      | 85.6            |
| <b>Z</b> | 456       | 460       | 457       | 457.7       | 1.7             |

<<< backward going wave velocity (m/s) <<<

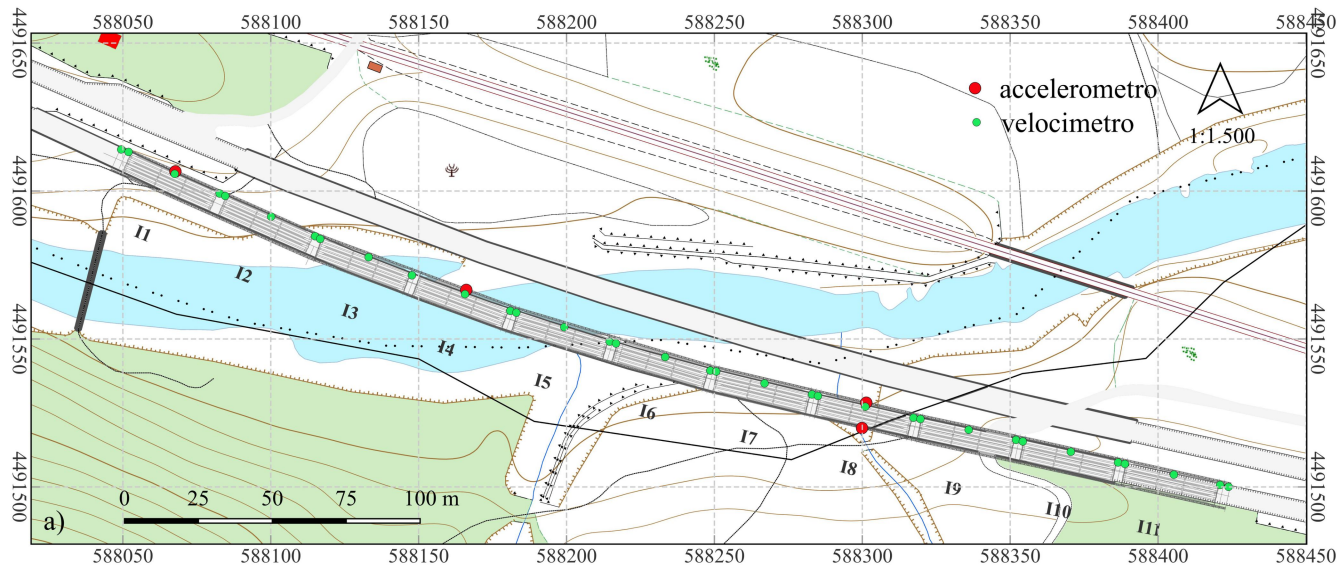
|          | <i>t1</i> | <i>t2</i> | <i>t3</i> | <i>mean</i> | <i>stad.dev</i> |
|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------------|
| <b>X</b> | 832       | 816       | 819       | 822.3       | 6.9             |
| <b>Y</b> | 2511      | 2511      | 2511      | 2511.0      | 0.0             |
| <b>Z</b> | 451       | 446       | 445       | 447.3       | 2.6             |



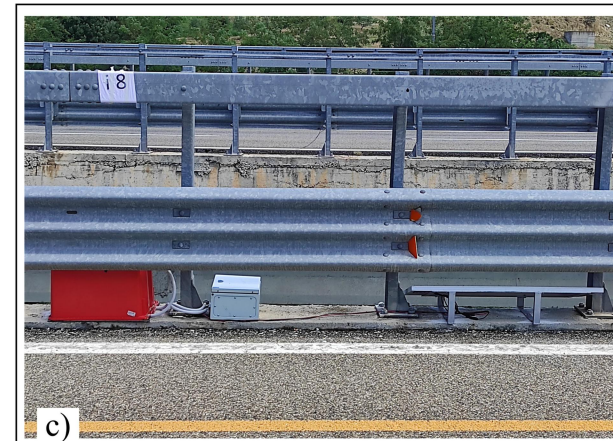
## Variazioni $f$ (Hz) vs Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

| Deck Mode | Direzione di modo                            | $f_{\text{FDD}}$ (Hz) 12 Luglio<br>( $\approx 35^{\circ}$ ) | $f_{\text{FDD}}$ (Hz) 29 Ottobre<br>( $\approx 10-12^{\circ}$ ) | $\Delta_{f(T^{\circ})}$ (%) |
|-----------|--|---|---|-----------------------------|
| 1°        | Verticale Flessionale                        | 0.757   | 0.793   | 4.62                        |
| 2°        | Verticale/Trasversale Torsionale             | 0.964   | 1.022   | 5.67                        |
| 3°        | Verticale Flessionale                        | 1.355   | 1.389   | 2.42                        |
| 4°        | Verticale/Trasversale Torsionale flessionale | 1.501   | 1.572   | 4.47                        |
| 5°        | Verticale Flessionale                        | 1.965   | 2.014   | 2.42                        |
| 6°        | Verticale/Trasversale Torsionale             | 2.100   | 2.106   | 0.29                        |

- Monitoraggio on-demand: acquisizione di 20 minuti di rumore sismico ambientale
- Monitoraggio real-time: acquisizione di eventi sismici

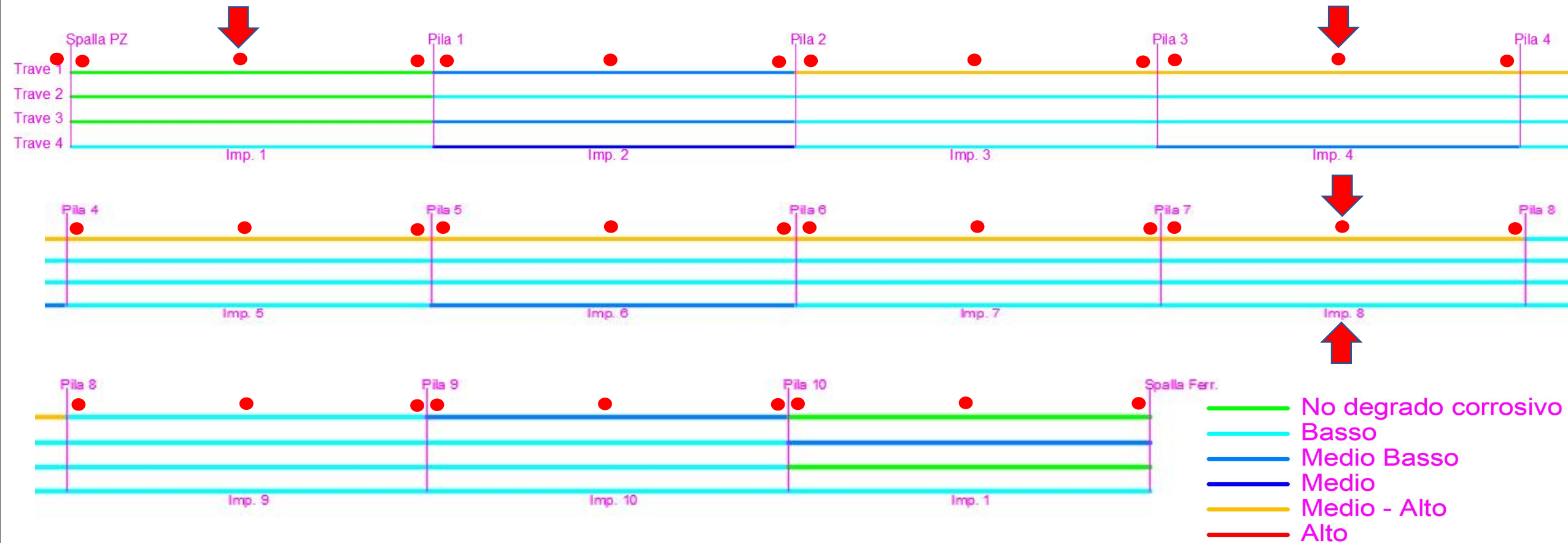


*Per l'attività di monitoraggio si ringrazia l'Ing. Benedetto (ANAS) e l'Ing. Vacca (ANAS)*



- Monitoraggio on-demand: acquisizione di 20 minuti di rumore sismico ambientale
- Monitoraggio real-time: acquisizione di eventi sismici

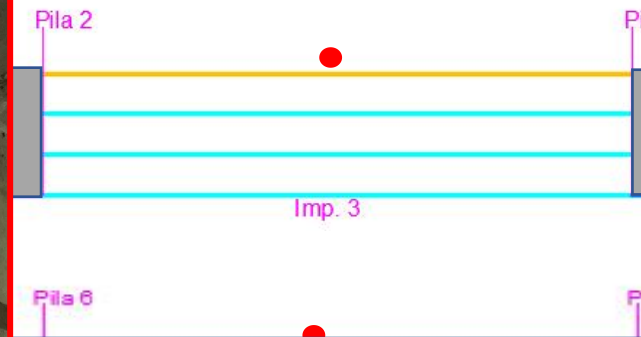
## Livello di degrado delle travi



accelerometro  
 velocimetro

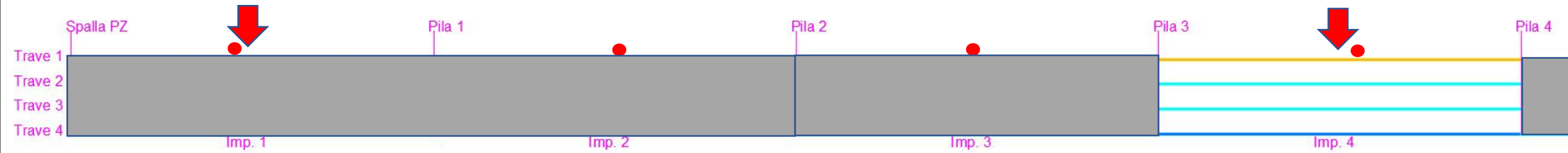


# Monitoraggio geofisico del viadotto Monticello: determinazione dei parametri modali



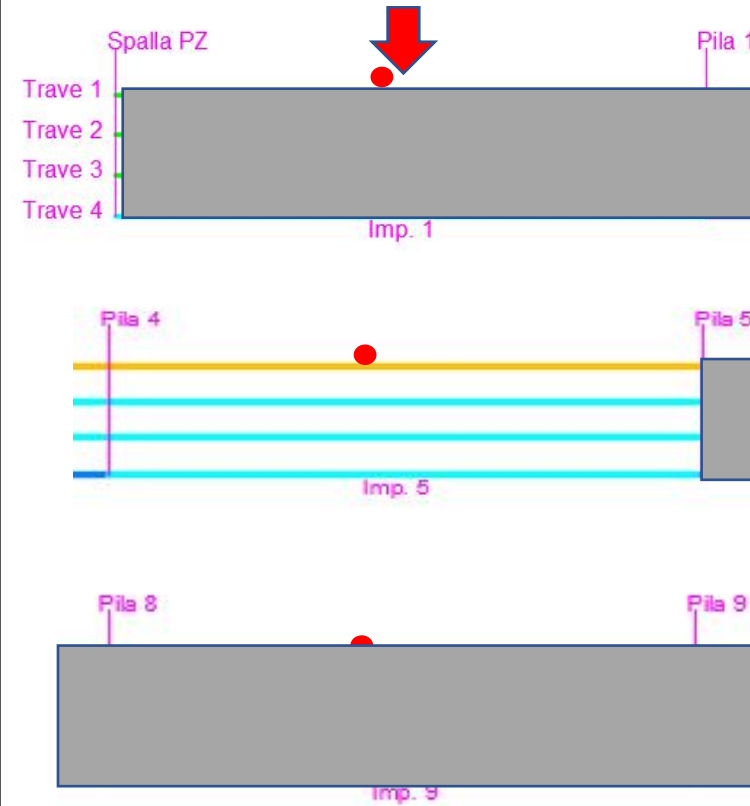
- No degrado con
- Basso
- Medio Basso
- Medio
- Medio - Alto
- Alto

## Livello di degrado Travi



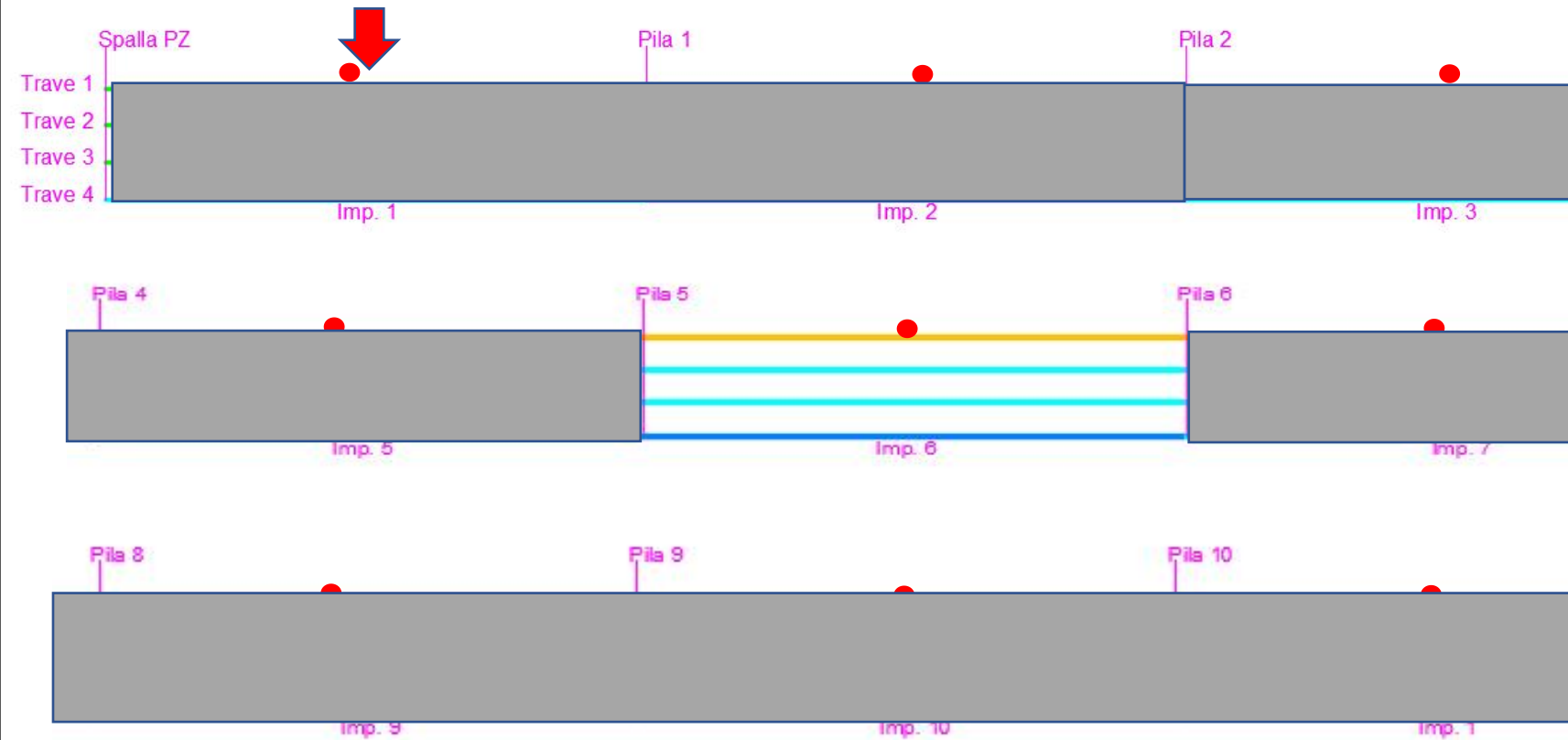
- No degrado corrosivo
- Basso
- Medio Basso
- Medio
- Medio - Alto
- Alto

## Livello di degrado Travi



- No degrado corrosivo
- Basso
- Medio Basso
- Medio
- Medio - Alto
- Alto

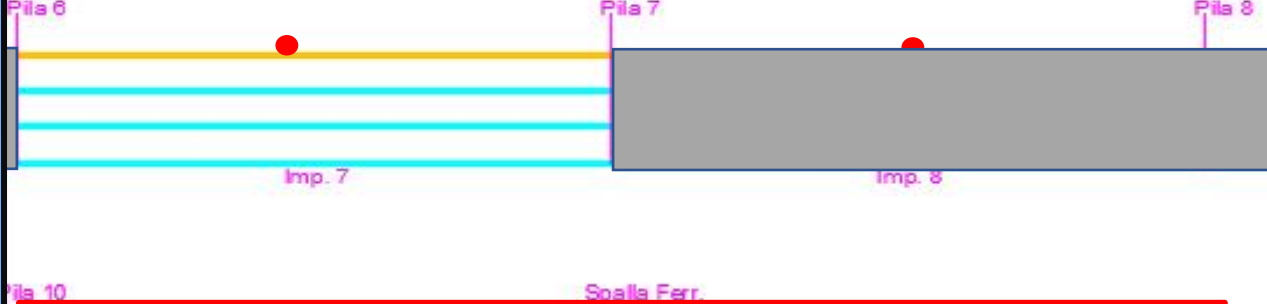
## Livello di degrado Travi



- No degrado corrosivo
- Basso
- Medio Basso
- Medio
- Medio - Alto
- Alto



Lato PZ



Lato MT



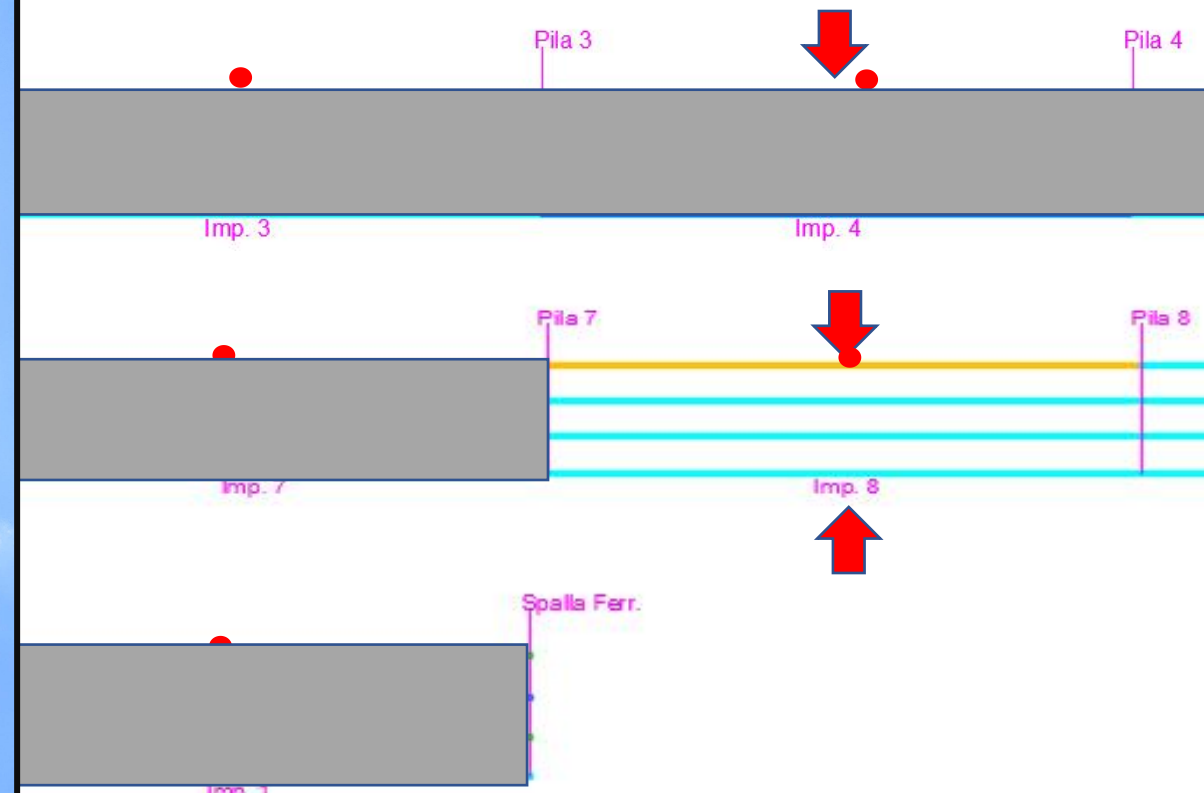
Lato PZ



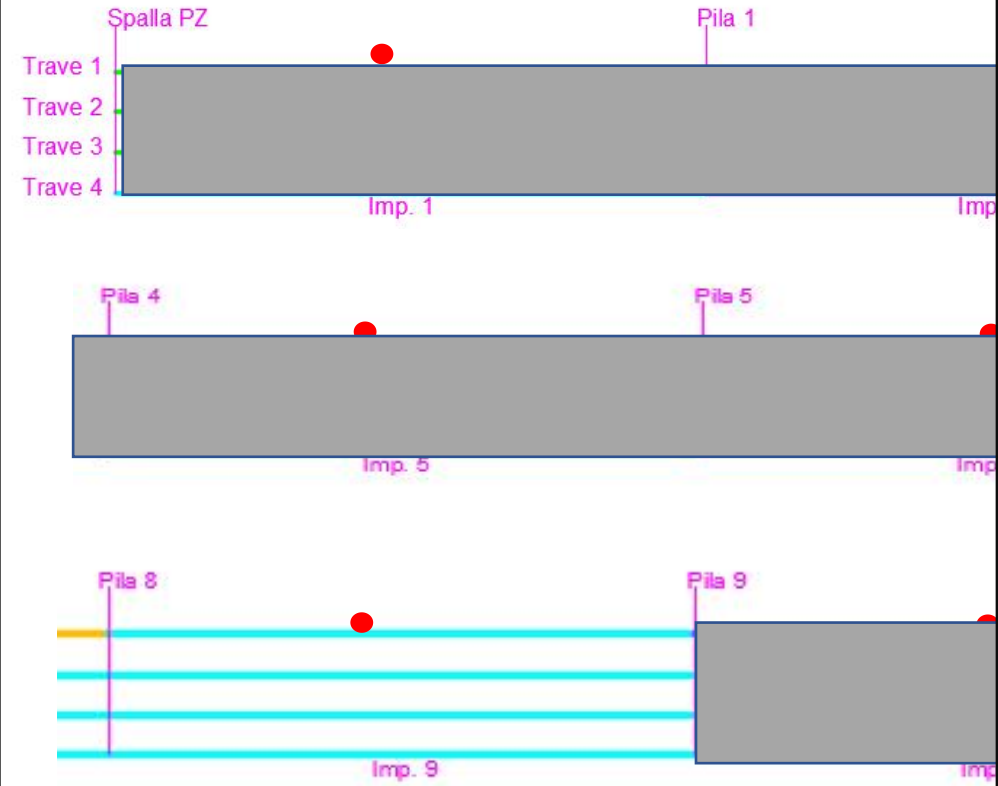
Lato PZ

Lato MT

Ando Travi



- No degrado corrosivo
- Basso
- Medio Basso
- Medio
- Medio - Alto
- Alto

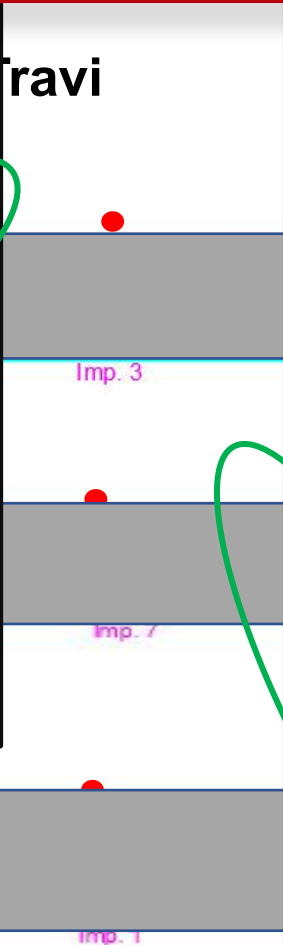


- No degrado corrosivo
- Basso
- Medio Basso
- Medio
- Medio - Alto
- Alto





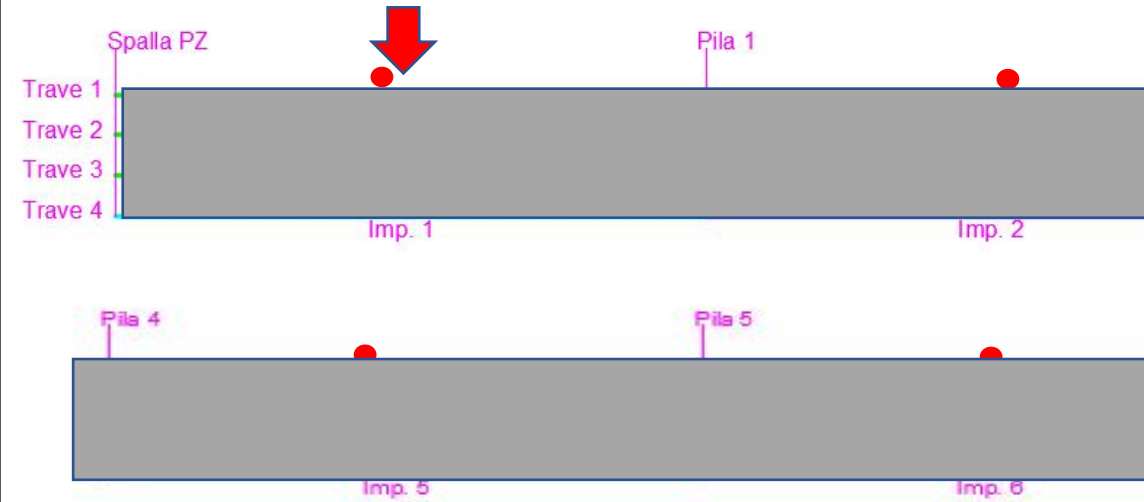
Lato PZ



Lato MT

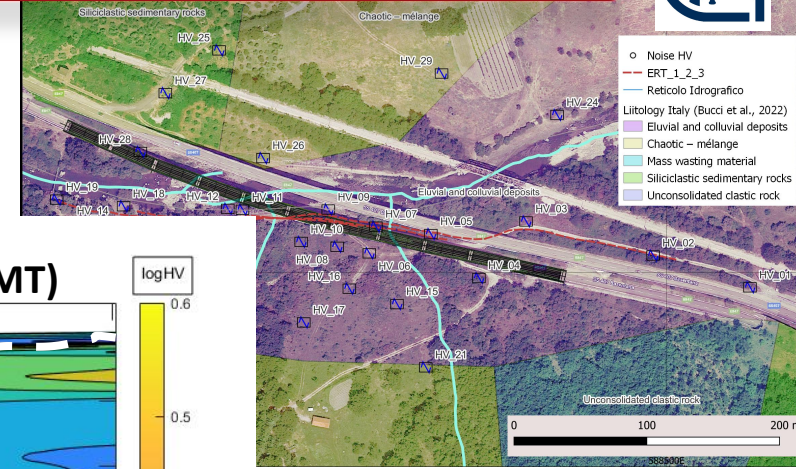
- No degrado corrosivo
- Basso
- Medio Basso
- Medio
- Medio - Alto
- Alto





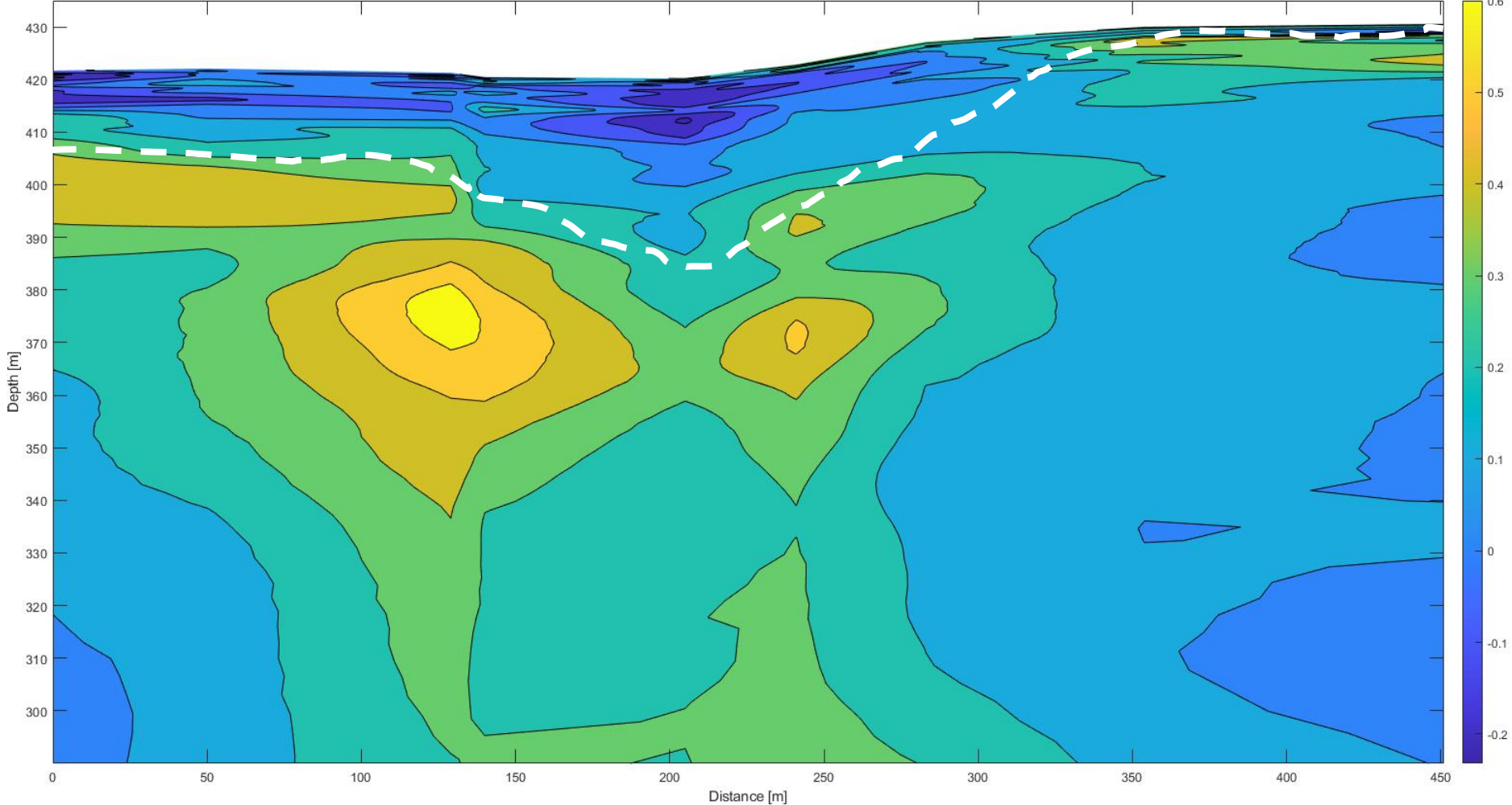


## Caratterizzazione del suolo di fondazione Amplificazione stratigrafica

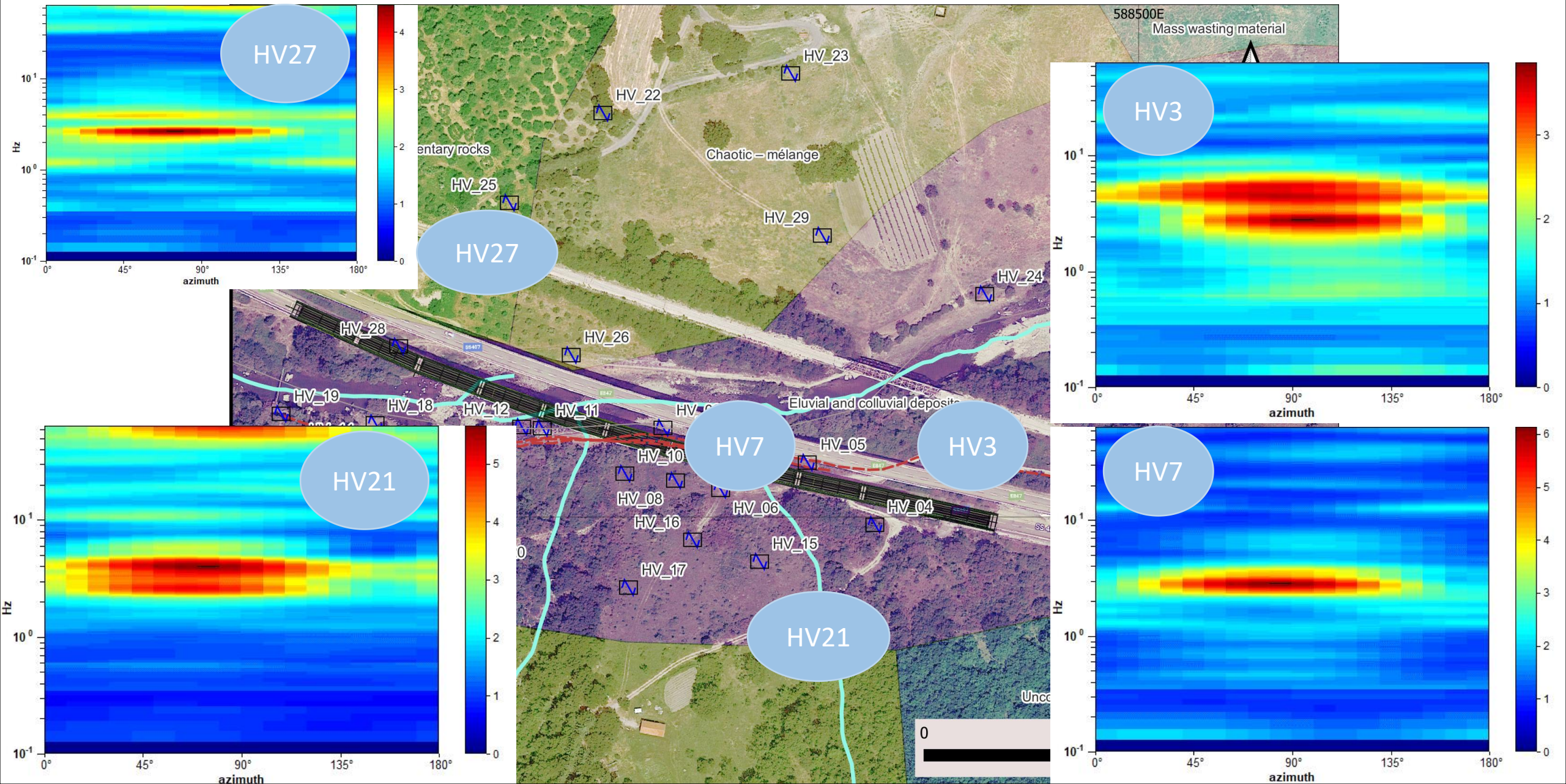


W-NW (direzione PZ)

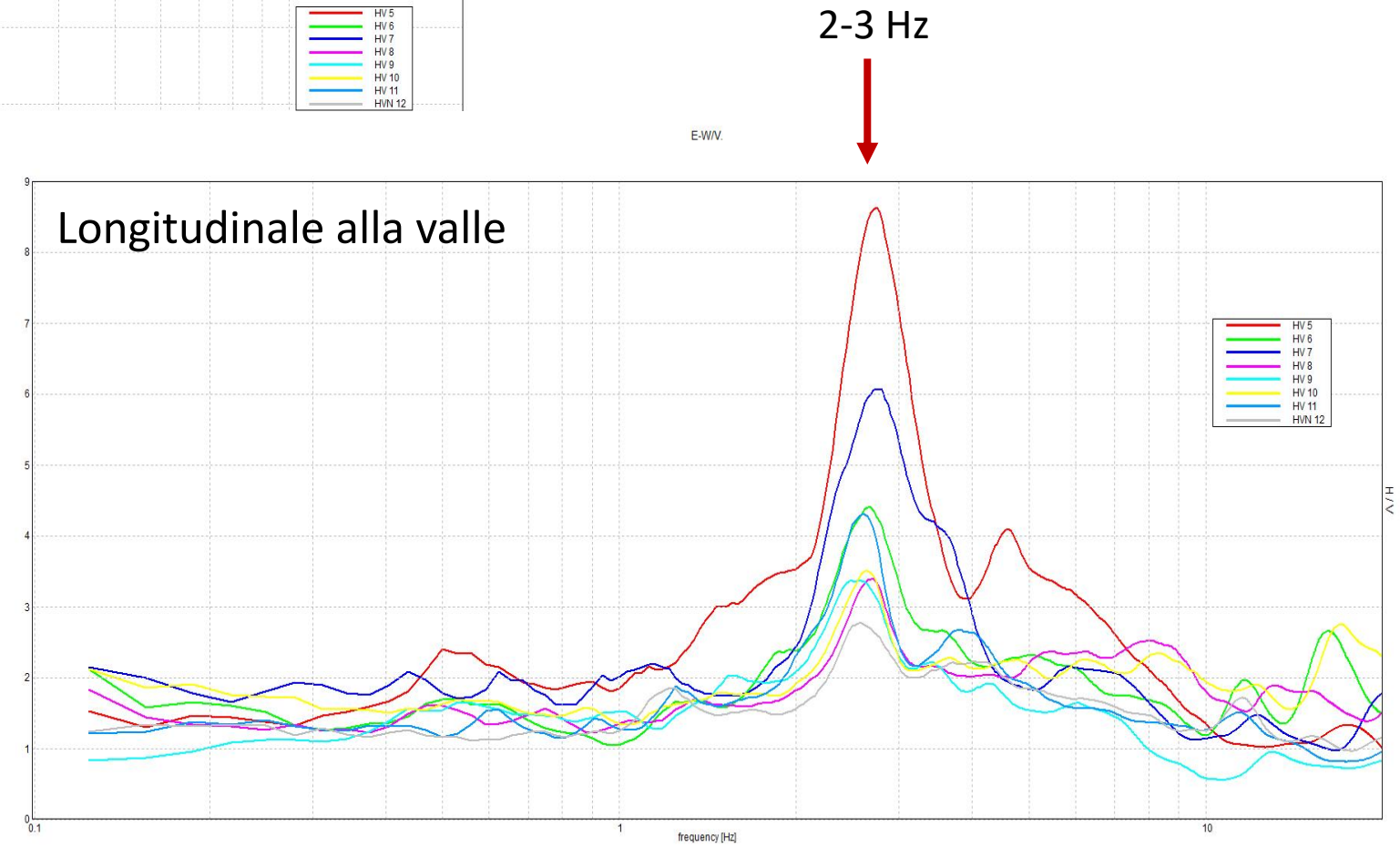
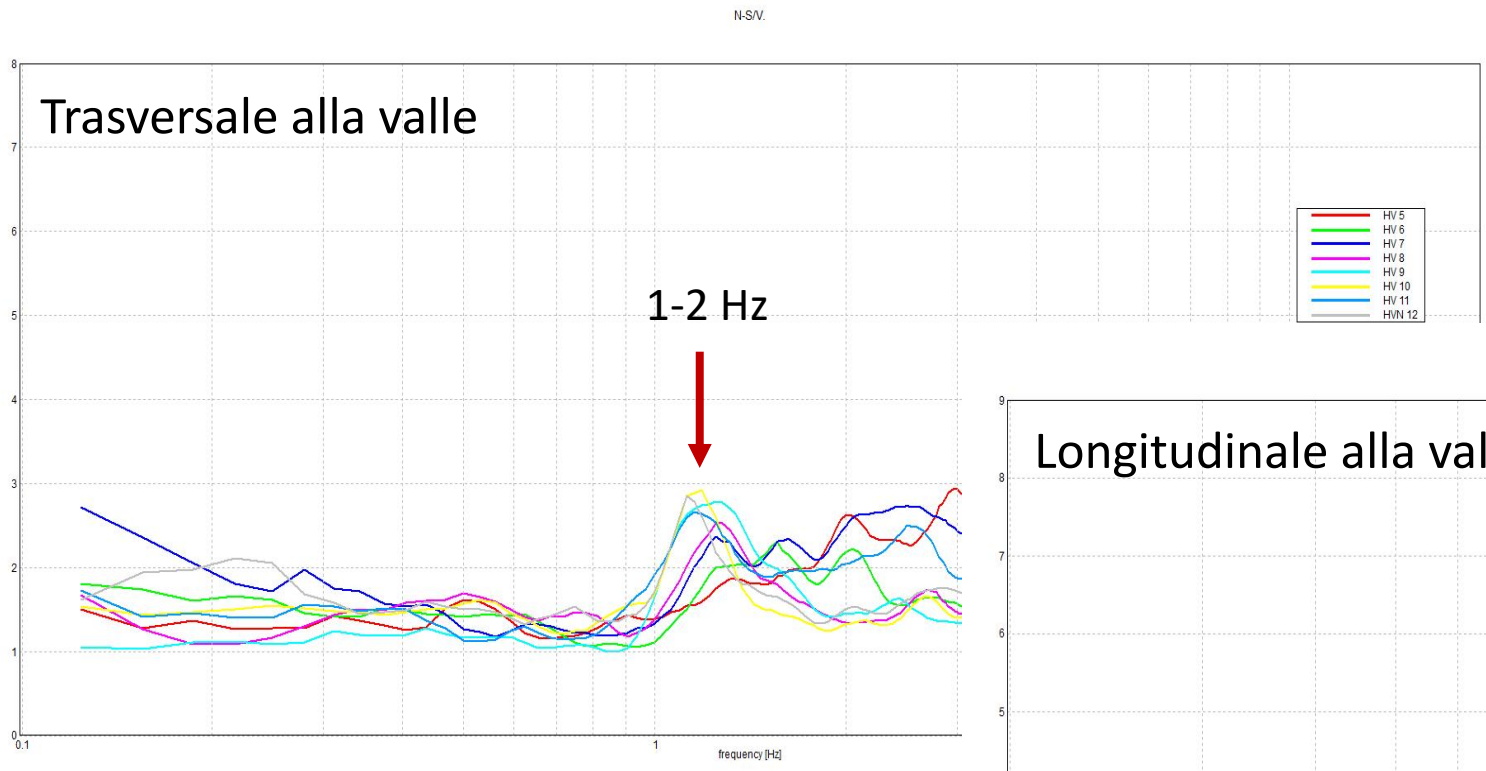
E-SE (direzione MT)



## Caratterizzazione del suolo di fondazione - Effetti direzionali

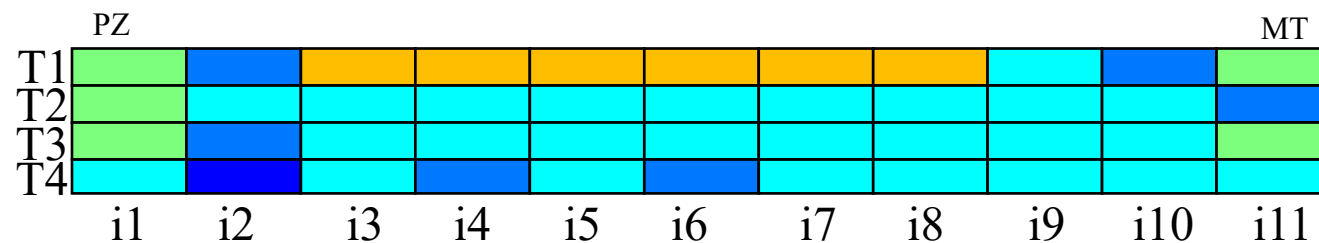
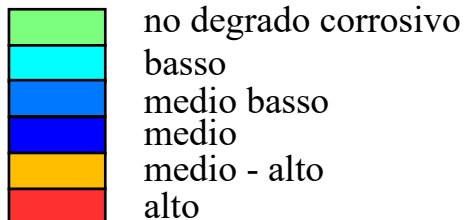


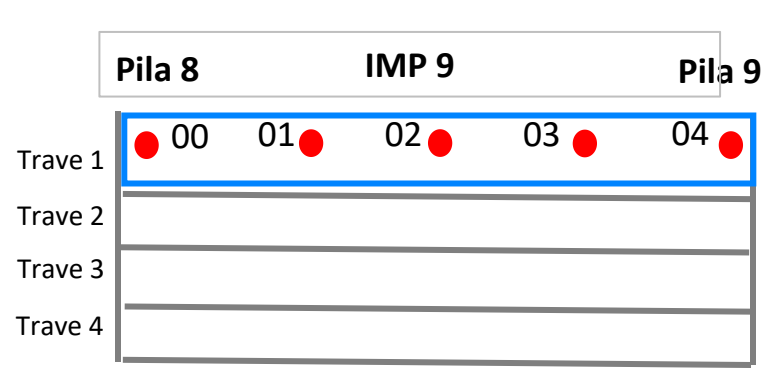
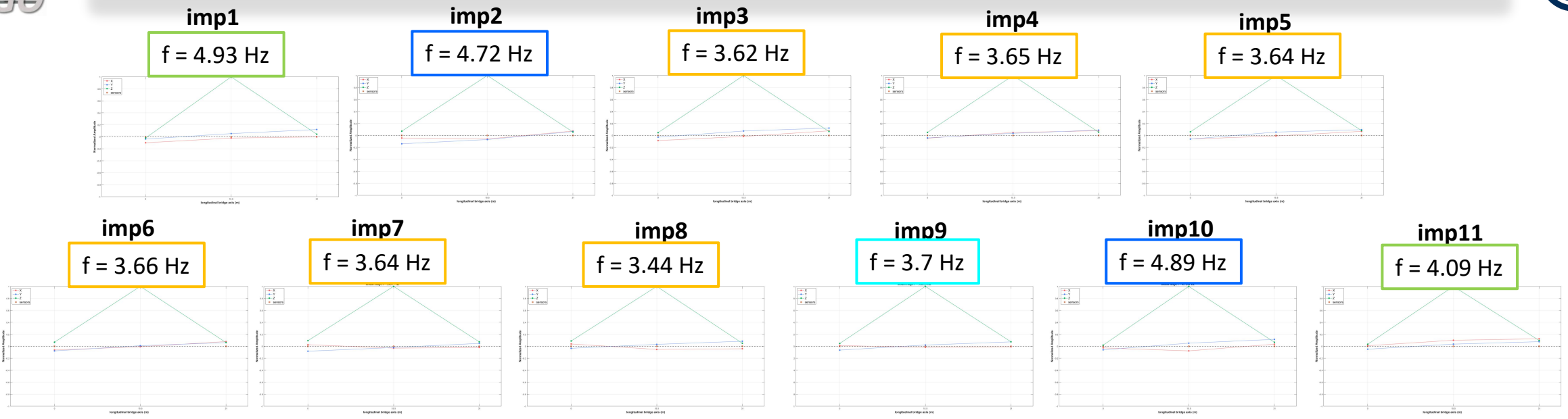
# Caratterizzazione del suolo di fondazione - Effetti direzionali



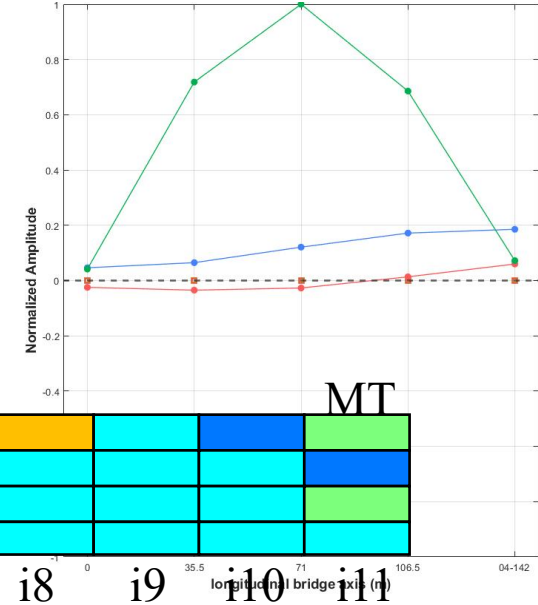
## FAS (Fourier Amplitude Spectra)

| deck | location sensors | Z       |         |         | EW      |         |         |         | NS      |         |         |       |
|------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
|      |                  | f1 [Hz] | f2 [Hz] | f3 [Hz] | f1 [Hz] | f2 [Hz] | f3 [Hz] | f4 [Hz] | f1 [Hz] | f2 [Hz] | f3 [Hz] |       |
| 1    | L2-02            | 4.944   |         |         | 5.115   |         |         | 10.58   |         | 4.37    | 5.249   | 11.67 |
| 2    | L2-05            | 4.724   |         |         | 4.736   | 5.115   | 9.436   |         | 3.87    | 4.37    | 5.225   |       |
| 3    | L2-01            | 3.638   | 4.773   |         | 5.1     | 8.52    | 10.45   |         | 3.552   | 5.225   | 11.65   |       |
| 4    | L2-04            | 3.674   | 4.663   |         | 1.074   | 1.27    | 1.575   |         | 2.368   | 3.479   | 5.225   |       |
| 5    | L2-01            | 3.638   | 4.639   |         | 1.062   | 1.575   | 2.014   |         | 2.405   | 3.308   | 5.298   |       |
| 6    | L2-04            | 3.638   | 4.309   | 5.273   | 1.062   | 1.255   | 1.575   |         | 2.405   | 3.601   | 4.7     |       |
| 7    | L2-01            | 3.638   | 4.663   |         | 1.062   | 1.27    | 9.888   |         | 2.551   | 4.871   | 10.64   |       |
| 8    | L2-04            | 3.674   | 4.517   |         | 1.27    | 1.587   | 1.99    |         | 2.551   | 3.516   | 5.225   |       |
| 9    | L2-01            | 3.687   | 4.895   |         | 1.27    | 1.55    | 2.466   |         | 2.673   | 3.735   | 5.286   |       |
| 9    | L2               | 3.821   | 4.797   |         | 1.221   | 1.587   | 2.478   | 4.797   | 3.625   | 5.359   | 11.9    |       |
| 9    | L4               | 3.821   | 4.797   | 11.88   | 1.221   | 1.587   | 2.478   |         | 3.625   | 5.359   | 11.34   |       |
| 10   | L2-04            | 4.895   |         |         | 3.65    | 4.895   |         |         | 3.699   | 5.286   |         |       |
| 11   | L2-01            | 4.102   | 4.797   |         | 5.042   | 10.97   |         |         | 5.042   | 11.38   |         |       |

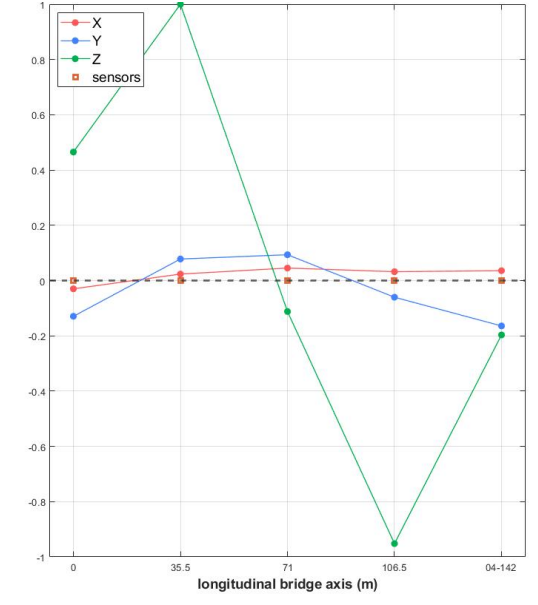




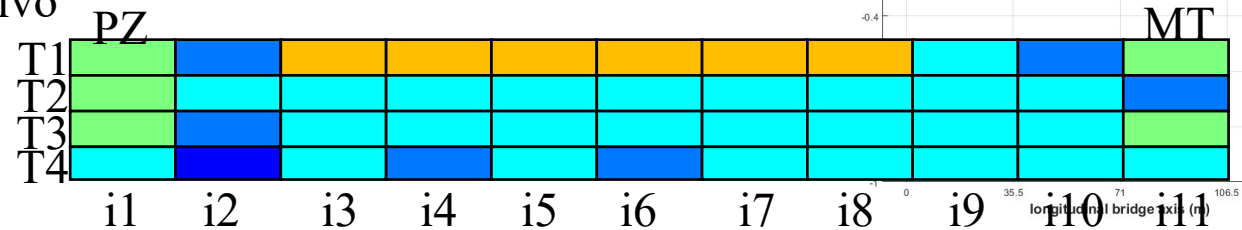
1° modo flessionale verticale  
f = 3.82 Hz



2° modo flessionale verticale  
f = 11.87 Hz

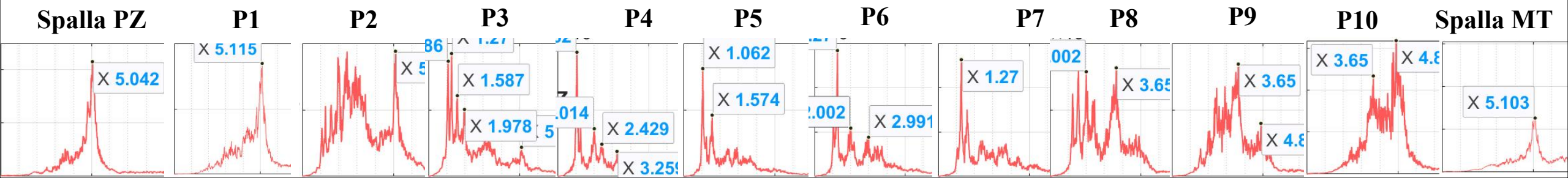


no degrado corrosivo  
 basso  
 medio basso  
 medio  
 medio - alto  
 alto



## FAS (Fourier Amplitude Spectra)

| deck | location sensors | Z       |         |         | EW      |         |         |         | NS      |         |         |
|------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|      |                  | f1 [Hz] | f2 [Hz] | f3 [Hz] | f1 [Hz] | f2 [Hz] | f3 [Hz] | f4 [Hz] | f1 [Hz] | f2 [Hz] | f3 [Hz] |
| 1    | L2-02            | 4.94    |         |         | 5.11    |         |         |         | 4.37    | 5.25    | 11.67   |
| 2    | L2-05            | 4.72    |         |         | 4.74    | 5.11    | 9.44    |         | 3.87    | 4.4     | 5.22    |
| 3    | L2-01            | 3.63    | 4.77    |         | 5.1     | 8.52    | 10.45   |         | 3.55    | 5.23    | 11.65   |
| 4    | L2-04            | 3.67    | 4.66    |         | 1.07    | 1.27    | 1.57    |         | 2.37    | 3.48    | 5.22    |
| 5    | L2-01            | 3.64    | 4.64    |         | 1.06    | 1.57    | 2.01    |         | 2.40    | 3.31    | 5.3     |
| 6    | L2-04            | 3.64    | 4.31    | 5.273   | 1.06    | 1.25    | 1.57    |         | 2.40    | 3.60    | 4.7     |
| 7    | L2-01            | 3.64    | 4.66    |         | 1.06    | 1.27    | 9.88    |         | 2.55    | 4.87    | 10.64   |
| 8    | L2-04            | 3.67    | 4.52    |         | 1.27    | 1.58    | 1.99    |         | 2.55    | 3.52    | 5.22    |
| 9    | L2-01            | 3.68    | 4.89    |         | 1.27    | 1.55    | 2.46    |         | 2.67    | 3.73    | 5.28    |
| 9    | L2               | 3.82    | 4.79    |         | 1.22    | 1.58    | 2.47    | 4.79    | 3.62    | 5.36    | 11.9    |
| 9    | L4               | 3.82    | 4.79    | 11.88   | 1.22    | 1.58    | 2.47    |         | 3.62    | 5.36    | 11.34   |
| 10   | L2-04            | 4.89    |         |         | 3.65    | 4.89    |         |         | 3.7     | 5.28    |         |
| 11   | L2-01            | 4.10    | 4.79    |         | 5.04    | 10.9    |         |         | 5.04    | 11.38   |         |







## **ATTIVITA' FUTURE**

- Elaborazione monitoraggio on demand della trave n.4 meno degradata
- Valutazione del comportamento dinamico mediante analisi degli eventi sismici registrati

## **VANTAGGI DELL'APPROCCIO**

- ✓ Acquisizioni sismiche di rumore ambientale rapide da eseguire (20 minuti di registrazione);
- ✓ Non invasive (si applicano senza deviare, bloccare il flusso di traffico o interrompere il servizio di un'infrastruttura stradale);
- ✓ A basso costo (array di sensori velocimetrici)

***TALE APPROCCIO PUÒ ESSERE CONSIDERATO UN VALIDO SUPPORTO ALLE ISPEZIONI VISIVE***



UNIONE EUROPEA  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Convegno 22-23 Giugno 2023

Università di Trento  
ELEDIA@UniTN

# App MITIGO per Monitoraggio e Supporto alle Decisioni

*Componenti del Gruppo di Ricerca:*

*Arianna BENONI, Massimo DONELLI, Andrea MASSA, Giacomo OLIVERI, Alessandro POLO, Paolo ROCCA, Pietro ROSATTI*

## Obiettivi (T4.3)

Monitoraggio dei siti a rischio e allarmistica



Sito Monitorato  
**Viadotto MONTICELLO**  
Albano di Lucania,  
Basilicata



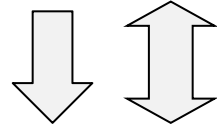
**Sensori, Basi Dati**  
**(i.e., Accelerometri Triassiali)**

Acquisizione dati di monitoraggio

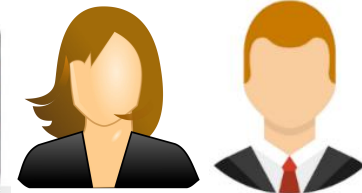
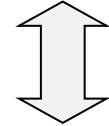


**Organizzazione, Aggregazione, e Analisi Dati**

Allerte



Visualizzazione Dati



**App per Dispositivi Mobili**



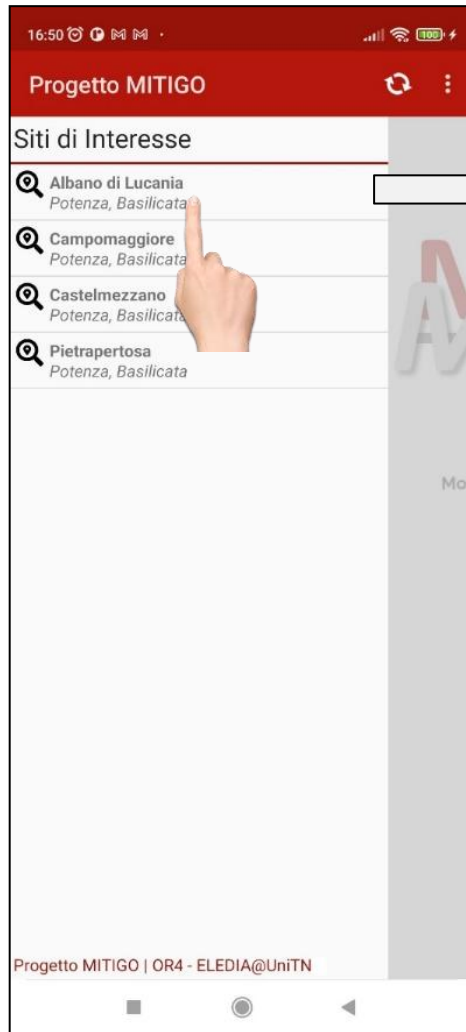
<https://dev.eledia.org/mitigo>



## Dimostratore Online

- App accessibile Online e testata da CNR-IMAA
- Basi dati del Viadotto Monticello (CNR-IMAA)
- Possibilità di aggiungere ulteriori siti analoghi

## Selezione Sito

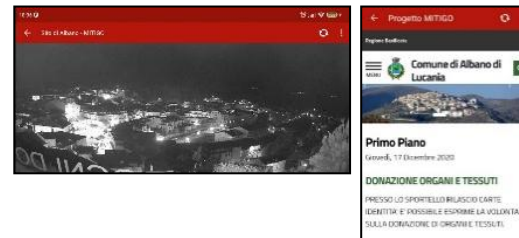


## Contenuti del Sito



## Contenuti Supportati

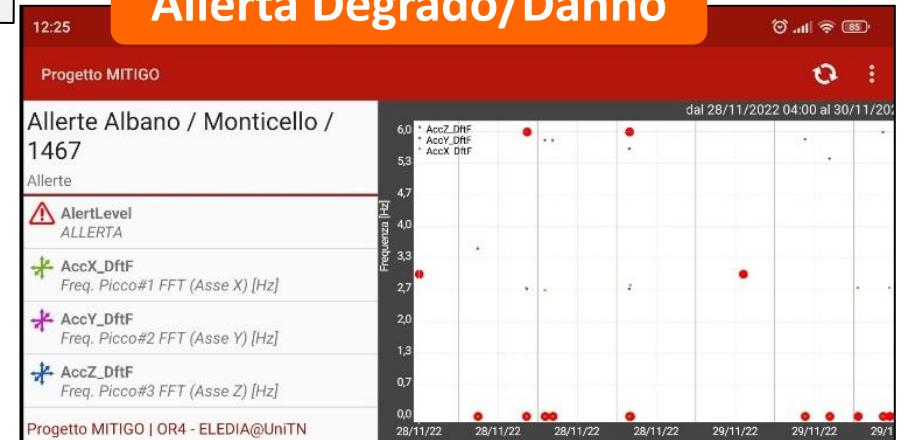
- Grafici Sensori
- Grafici Allerte
- Immagini / webcams
- Documenti (siti, PDF, ..)



## Sensore Accelerometro



## Allerta Degrado/Danno



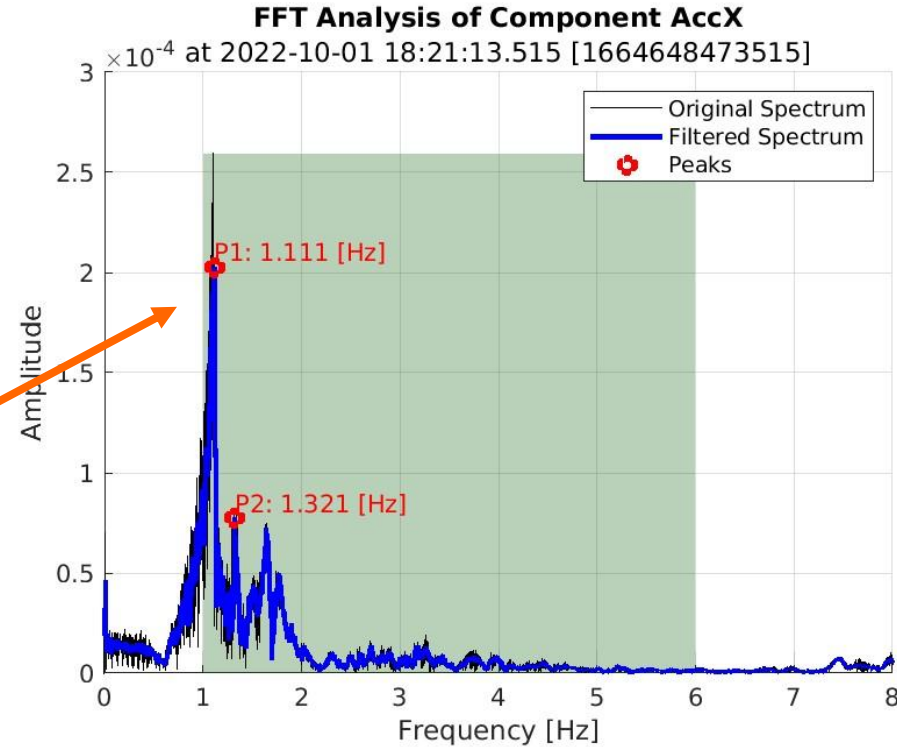
Allerte valutate intorno ai massimi di accelerazione in finestre di 6 ore su componente trasversale (X) e verticale (Z)

## Livelli di Allerta

- No Allerta
- Non valutabile (L=1)
- Allerta FFT (L=2)
- Allerta Smorzamento (L=3)
- Allerta FFT + Smorzamento (L=4)

## Analisi delle Allerte

- ✓ Algoritmo definito dagli esperti di dominio (CNR-IMAA)
- ✓ Analisi dati in continuo
- ✓ Visualizzazione combinata di indici e dati



## 1. Analisi Picchi FFT

- Rilevati i primi 2 picchi FFT
- Allerta se il decremento della frequenza dei picchi > F [%]
- Soglia calibrata sulla struttura

## 2. Analisi dello Smorzamento

- Algoritmo NonPaDan [1]
- Allerta se l'incremento dello Smorzamento > K [%]
- Soglia calibrata sulla struttura

[1] V. Serlenga, M. Gallipoli, R. Ditommaso, F. Ponzo, N. Tragni, A. Perrone, T.A. Stabile, G. Calamita, L. Vignola, R. Carso, D. Pietrapertosa, V. Lapenna, "An integrated approach for structural behavior characterization of the Gravina Bridge (Matera, Southern Italy)," Structural Health Monitoring, vol. 20, 2021.

*Contact Point:* **Prof. Paolo Rocca**

Associate Professor @ University of Trento (Trento - Italy)

Huashan Scholar Professor @ Xidian University (Xi'an - China)

*E-mail:*

paolo.rocca@unitn.it

paolo.rocca@xidian.edu.cn

paolo.rocca@eledia.org



<https://www.eledia.org>



<https://twitter.com/ELEDIAResearch>



<https://www.facebook.com/eledianet>



<https://www.linkedin.com/company/eledianet>



<https://www.instagram.com/eledianet>



WeChat ID: eledianet

