



PROVE IN SITO - LABORATORIO PROVE MATERIALI



4 EMME SERVICE S.p.A. - Via L. Zuegg, 20 - 39100 BOLZANO  
Tel. 0471/543111 - Fax 0471/543110 - info@4emme.it - www.4emme.it

**PROVA DI CARICO STATICA E  
CARATTERIZZAZIONE DINAMICA  
“CAVALCAVIA DEL CASELLO AUTOSTRADALE”  
DI PEGOGNAGA (MN)**

**PROVE N° 3597-3598/VR**

**26 ottobre 2009**

Committente: **A22 - Autostrada del Brennero S.p.A.**

Collaudatore: **XXXXXXXXXXXXXXXXXX**

Relatore: **XXXXXXXXXXXXXXXXXX**



*Vista longitudinale del cavalcavia del casello di Pegognaga (MN)*



## INDICE

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>PREMESSA .....</b>                                      | <b>3</b>  |
| 1.1      | DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA .....                          | 3         |
| <b>2</b> | <b>PROVA DI CARICO STATICA - PROVA N° 3597/VR.....</b>     | <b>5</b>  |
| 2.1      | STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....                            | 5         |
| 2.2      | DISPOSIZIONE DEI SENSORI.....                              | 6         |
| 2.3      | CARATTERISTICHE DEL CARICO.....                            | 8         |
| 2.4      | DESCRIZIONE DELLA PROVA .....                              | 10        |
| 2.5      | DISPOSIZIONI DEL CARICO .....                              | 11        |
| 2.6      | RISULTATI.....   | 14        |
| <b>3</b> | <b>CARATTERIZZAZIONE DINAMICA – PROVA N° 3598/VR .....</b> | <b>15</b> |
| 3.1      | STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....                            | 15        |
| 3.2      | MODALITA' ESECUTIVE .....                                  | 16        |
| 3.3      | RISULTATI.....   | 17        |



*Foto 1: Vista longitudinale da ovest del ponte scarico*



*Foto 2: Vista longitudinale da est del ponte durante la prima configurazione di carico*



## 1 PREMESSA

La Società *4 EMME Service S.p.A.* specializzata nell'esecuzione di prove sperimentali su strutture in sito è stata incaricata dalla XXXXXXXXXXXX di eseguire una prova di carico statica ed una prova dinamica necessarie al collaudo statico del **cavalcavia del casello autostradale di Pegognaga (MN)**.

La determinazione e la disposizione dei carichi e le modalità di rilevazione sono state preventivamente concordate con il Collaudatore dott. ing. Ignazio Scola e con il Direttore Lavori dott. ing. XXXXXXXXXXXX.

Le prove sono state eseguite in data **26 ottobre 2009**.

### All'esecuzione delle prove hanno assistito:

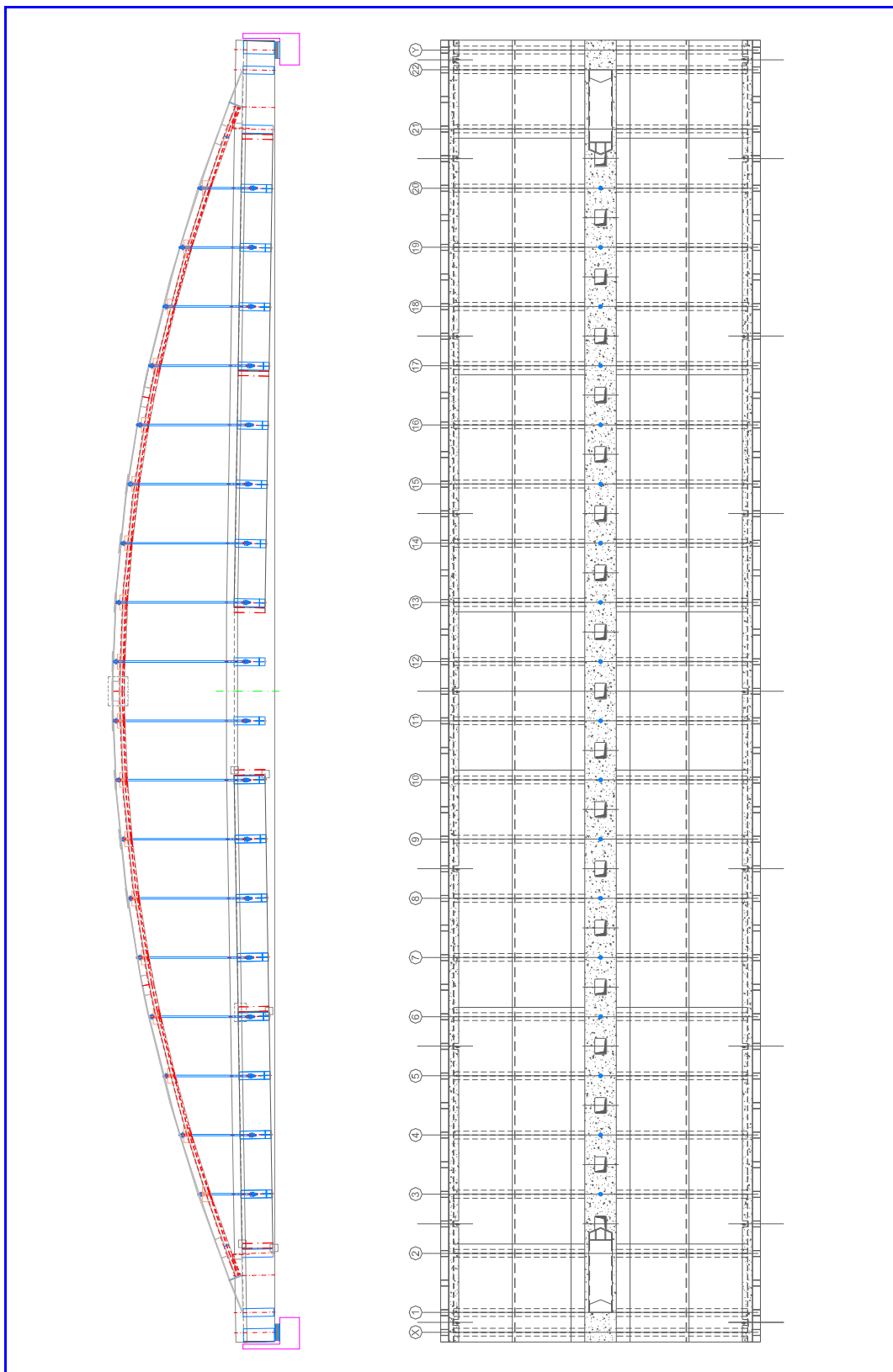
|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| dott. ing. XXXXXXXXXXXX | Collaudatore     |
| dott. ing. XXXXXXXXXXXX | Direzione Lavori |
| dott. ing. XXXXXXXXXXXX | Progettista      |

### e per la *4 EMME Service S.p.A.*:

|            |        |           |
|------------|--------|-----------|
| geom.      | Paolo  | Bassi     |
| geom.      | Simone | Marcolini |
| dott. ing. | Andrea | Palermo   |
| geom.      | Moreno | Mantovani |

## 1.1 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura oggetto della prova di carico statica è un ponte ad arco superiore di nuova costruzione con impalcato costituito da un elemento a cassone ispezionabile in acciaio e profilati in acciaio. All'estradosso del manufatto, lungo tutta la mezzeria longitudinale si sviluppa l'arco in acciaio con tiranti ogni 3,00 metri circa. La lunghezza totale del ponte è di 65,00 m e la larghezza dell'impalcato è di circa 16,30 m.



*Fig. 1: Prospetto e planimetria del cavalcavia*



## 2 PROVA DI CARICO STATICA - PROVA N° 3597/VR

### 2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La rilevazione delle deformazioni è stata effettuata con la seguente attrezzatura:

- unità computerizzata di registrazione delle deformazioni *GS03*;
- trasduttori differenziali di tipo LVDT modello *Schaevitz E 200 HQ*;
- apparecchiatura per amplificazione, conversione analogico-digitale e acquisizione dei dati modello *Data shuttle 16*;
- trasduttori potenziometrici con escursione massima di 100 mm;
- software di elaborazione *4 Emme Service*.

#### Trasduttori differenziali

I trasduttori di spostamento sono portati a contatto dell'intradosso attraverso apposite aste telescopiche. La catena di misura, sensore-cavo-unità, comporta un errore massimo pari al  $\pm 1\%$ .

I sensori impiegati hanno le seguenti caratteristiche:

|                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| <i>escursione</i>  | <i>10 mm</i>    |
| <i>sensibilità</i> | <i>0,002 mm</i> |
| <i>linearità</i>   | <i>99,6%</i>    |

#### Trasduttori potenziometrici

I trasduttori potenziometrici utilizzati hanno un'escursione max di 100 mm e sono stati collegati all'intradosso del cavalcavia attraverso fili invar. Tutti i potenziometri risultano avere un errore sulla linearità inferiore all'1%. I sensori impiegati hanno le seguenti caratteristiche:

|                    |                |
|--------------------|----------------|
| <i>escursione</i>  | <i>100 mm</i>  |
| <i>sensibilità</i> | <i>0,02 mm</i> |
| <i>linearità</i>   | <i>99,6%</i>   |

#### Calibrazione

La calibrazione della strumentazione è stata effettuata in data 09 giugno 2009 e documentata coi Certificati di Taratura n. 606/09 e n. 610/09. Tutti gli strumenti sono stati tarati dal Laboratorio della *4 EMME Service S.p.A.* utilizzando dei sensori campione come previsto dalla procedura 7.6 del "Manuale Qualità".



## 2.2 DISPOSIZIONE DEI SENSORI

Per la misura delle deformazioni in mezzeria sono stati impiegati 4 sensori potenziometrici collegati all'intradosso della struttura tramite filo invar. Per le deformazioni agli appoggi sono stati utilizzati 10 sensori differenziali, cinque su ciascuna spalla, di cui tre posizionati a ridosso dell'apparecchio d'appoggio mentre due all'estremità dell'impalcato. I sensori sono stati disposti come descritto di seguito:

|              |              |   |
|--------------|--------------|---|
| <b>CH 1</b>  | spalla ovest | a 7,00 m dall'asse longitudinale dell'impalcato lato nord |
| <b>CH 2</b>  | spalla ovest | a 2,50 m dall'asse longitudinale dell'impalcato lato nord |
| <b>CH 3</b>  | spalla ovest | in corrispondenza dell'asse longitudinale dell'impalcato  |
| <b>CH 4</b>  | spalla ovest | a 2,50 m dall'asse longitudinale dell'impalcato lato sud  |
| <b>CH 5</b>  | spalla ovest | a 7,00 m dall'asse longitudinale dell'impalcato lato sud  |
| <b>CH 6</b>  | mezzeria     | a 7,00 m dall'asse longitudinale dell'impalcato lato nord |
| <b>CH 7</b>  | mezzeria     | a 2,50 m dall'asse longitudinale dell'impalcato lato nord |
| <b>CH 8</b>  | mezzeria     | a 2,50 m dall'asse longitudinale dell'impalcato lato sud  |
| <b>CH 9</b>  | mezzeria     | a 7,00 m dall'asse longitudinale dell'impalcato lato sud  |
| <b>CH 10</b> | spalla est   | a 7,00 m dall'asse longitudinale dell'impalcato lato nord |
| <b>CH 11</b> | spalla est   | a 2,50 m dall'asse longitudinale dell'impalcato lato nord |
| <b>CH 12</b> | spalla est   | in corrispondenza dell'asse longitudinale dell'impalcato  |
| <b>CH 13</b> | spalla est   | a 2,50 m dall'asse longitudinale dell'impalcato lato sud  |
| <b>CH 14</b> | spalla est   | a 7,00 m dall'asse longitudinale dell'impalcato lato sud  |

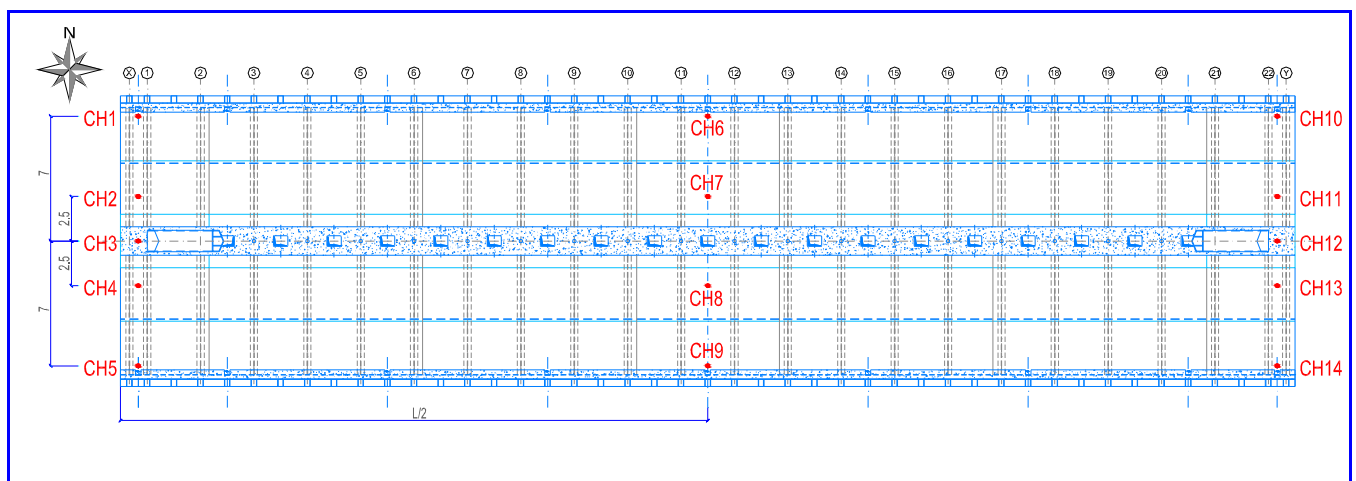


Fig. 2: Schema disposizione dei sensori





Foto 3: Sensore spalla est (CH10)



Foto 4: Sensori spalla est (CH10÷14)



Foto 5: Sensori in mezzeria



Foto 6: Sensore potenziometrico (CH9)



Foto 7: Postazione di acquisizione sensori in mezzeria

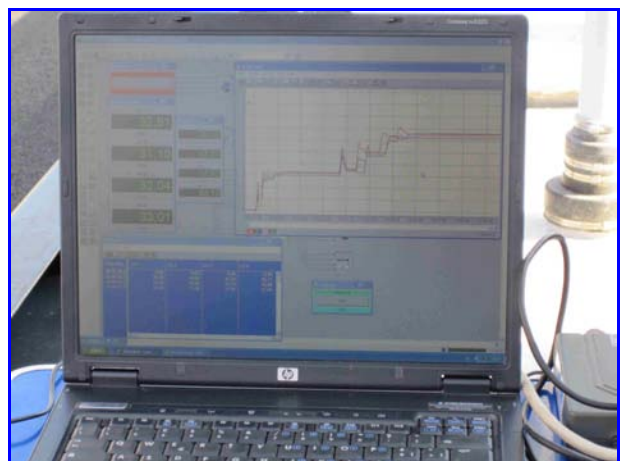


Foto 8: Visualizzazione dati in tempo reale



## 2.3 CARATTERISTICHE DEL CARICO

La prova di carico eseguita ha richiesto l'utilizzo di 14 mezzi d'opera a 4 assi da circa 370,0 kN ciascuno, qui sotto rappresentati con schemi e pesate.

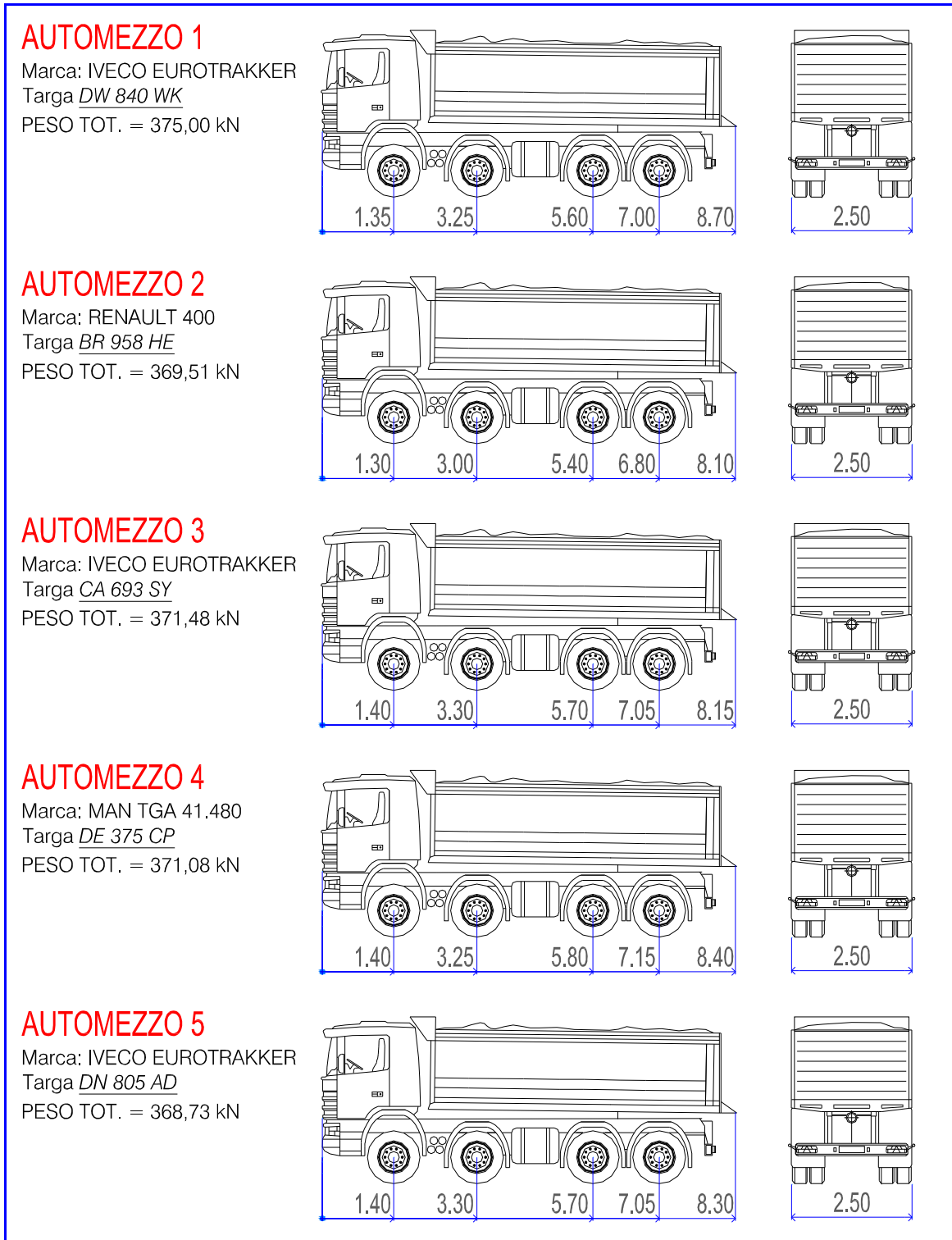


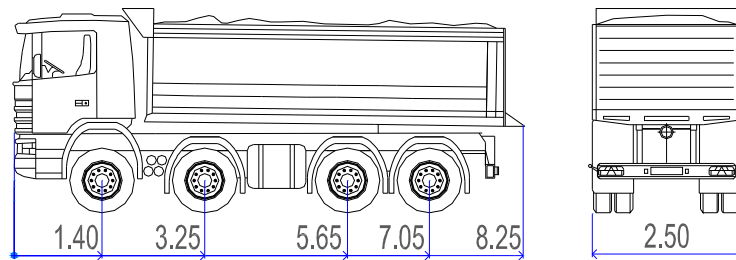
Fig. 3: Automezzi 1, 2, 3, 4 e 5





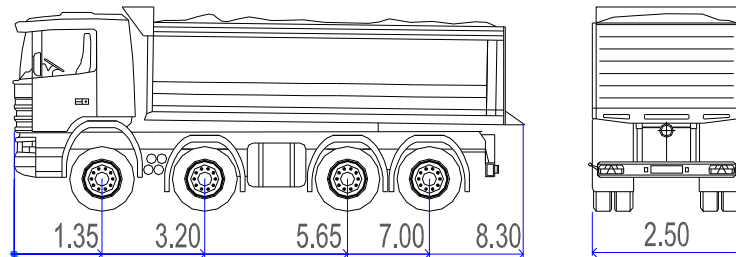
### AUTOMEZZO 6

Marca: IVECO TRAKKER 440  
Targa CR 954 DC  
PESO TOT. = 369,71 kN



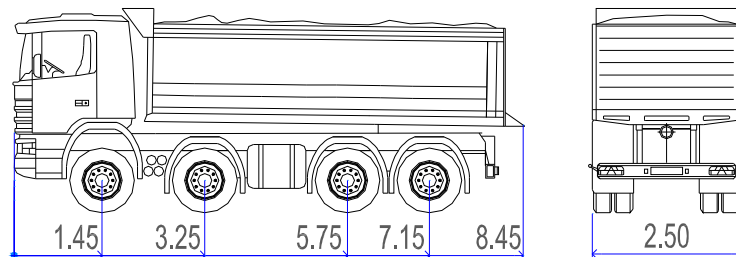
### AUTOMEZZO 7

Marca: IVECO EUROTRAKKER  
Targa BW 582 KH  
PESO TOT. = 368,14 kN



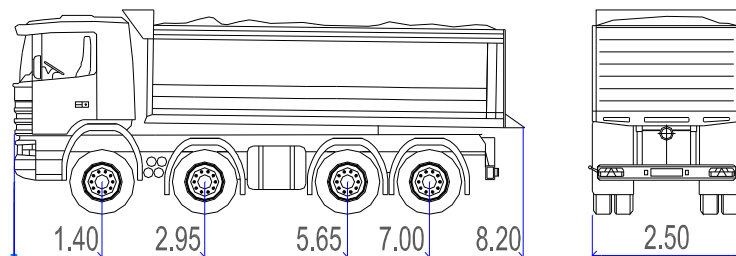
### AUTOMEZZO 8

Marca: MAN TGA 41.480  
Targa CR 112 DC  
PESO TOT. = 367,55 kN



### AUTOMEZZO 9

Marca: IVECO EUROTRAKKER  
Targa AR 047 RF  
PESO TOT. = 366,57 kN



### AUTOMEZZO 10

Marca: IVECO EUROTRAKKER  
Targa CF 572 ND  
PESO TOT. = 370,89 kN

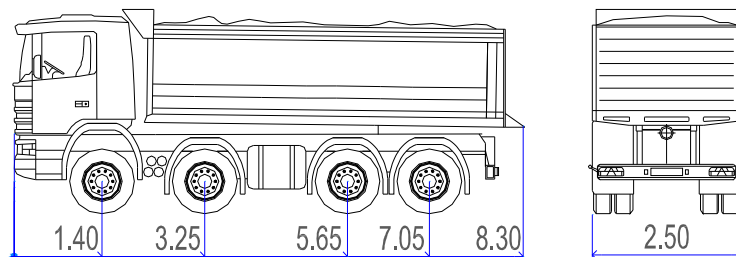


Fig. 4: Automezzi 6, 7, 8, 9 e 10

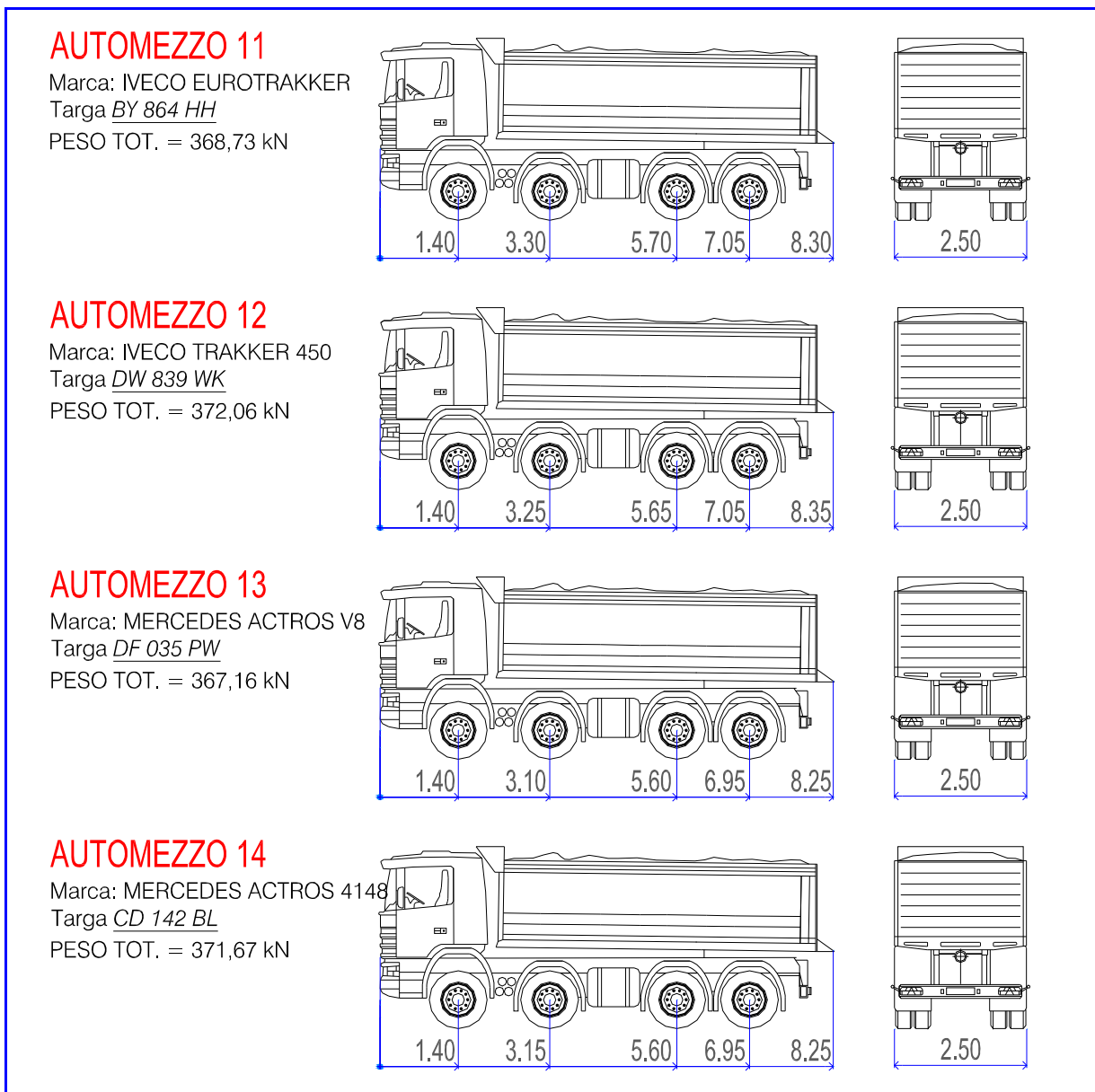


Fig. 5: Automezzi 11, 12, 13 e 14

## 2.4 DESCRIZIONE DELLA PROVA

**Condizione di carico:** Sono stati eseguiti quattro cicli di carico-scarico posizionando gli automezzi secondo gli schemi statici forniti dalla Direzione Lavori ed approvati Collaudatore.

Le fasi delle operazioni per ogni configurazione di carico sono le seguenti:

- F0.** azzeramento dei sensori a ponte scarico;
- F<sup>1/2</sup>** carico della metà degli automezzi previsti per F1;
- F1.** carico di tutti gli automezzi previsti;
- F2.** scarico di tutti gli automezzi.



Le acquisizioni sono state eseguite ogni volta che si è completata la configurazione di carico e dopo aver aspettato il tempo necessario per l'assestamento della struttura.

**NB:** solo nell'esecuzione della prima configurazione è stata acquisita una fase intermedia ( $F^{1/2}$ ) in cui si sono posizionati i 6 automezzi centrali a cavallo dell'asse longitudinale (1,2,3,4,5 e 6).

## 2.5 DISPOSIZIONI DEL CARICO

Su indicazione del collaudatore e del D.L. si sono eseguite quattro differenti configurazioni di carico ( $C1 \div C4$ ); le prime due hanno richiesto l'utilizzo di tutti i 14 automezzi, la terza di 7 mezzi ed infine l'ultima solo di 6.

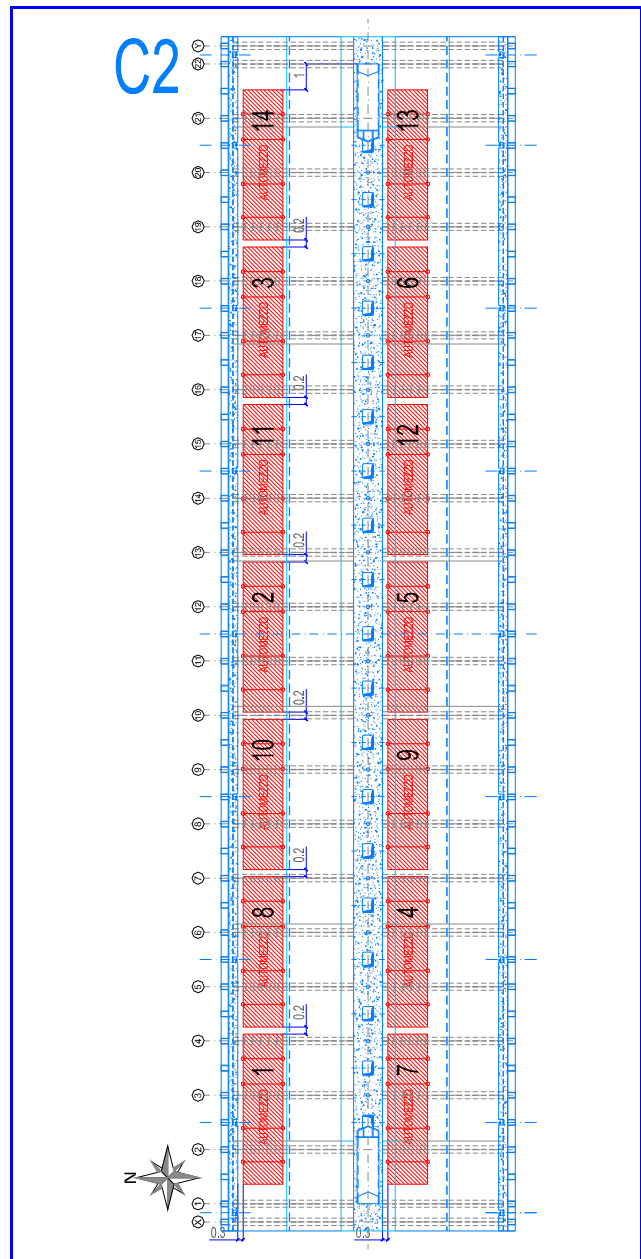
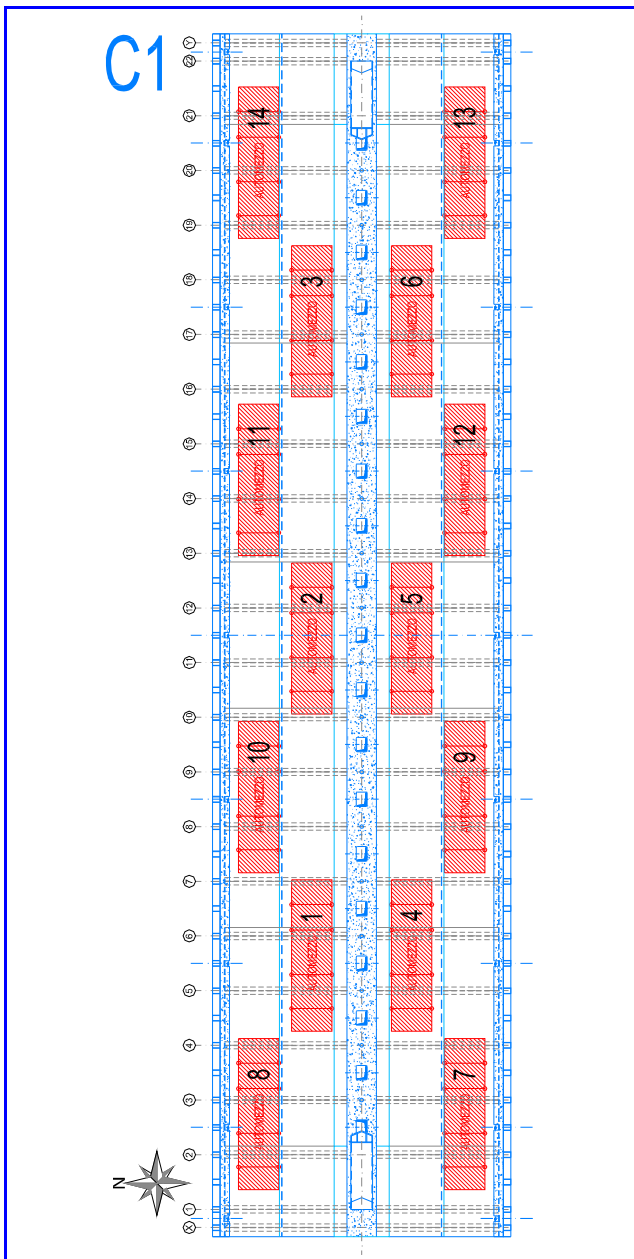
Nelle pagine seguenti riportiamo gli schemi con la posizione degli automezzi nella varie configurazioni.



Foto 9: Vista del ponte da sud-ovest



Foto 10: Vista del ponte da sud-est



*Fig. 6: Prima configurazione di carico*



*Fig. 7: Seconda configurazione di carico*

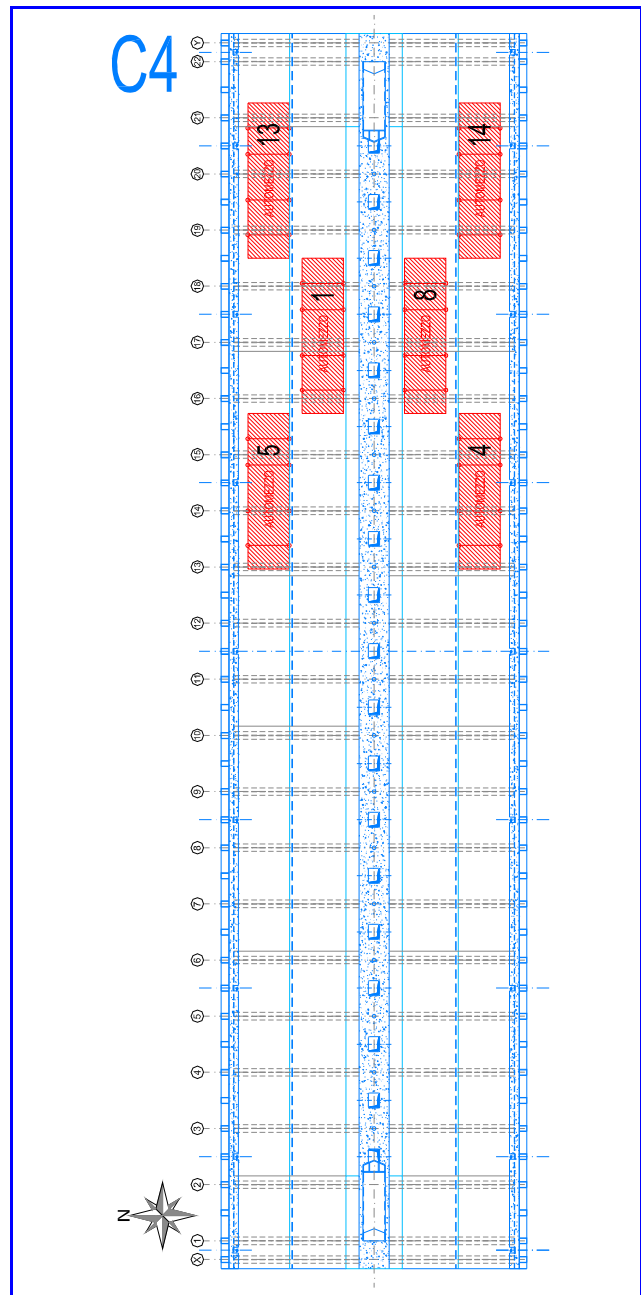
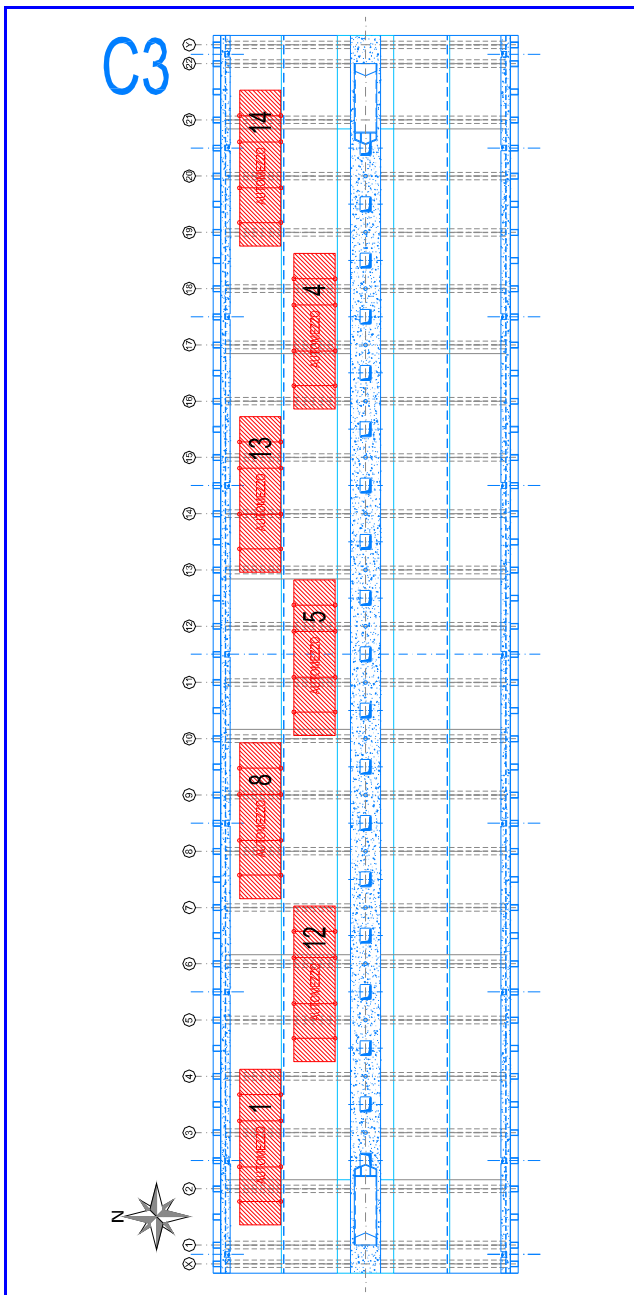


Fig. 8: Terza configurazione di carico



Fig. 9: Quarta configurazione di carico





## 2.6 RISULTATI

Di seguito le frecce rilevate durante le singole configurazioni.

| <b>C1</b>   | <i>Spalla ovest</i> |             |             |             |             | <i>Mezzeria</i> |              |              |              | <i>Spalla est</i> |             |             |             |             | <i>Orario</i> |
|-------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| <i>Fase</i> | <i>CH1</i>          | <i>CH2</i>  | <i>CH3</i>  | <i>CH4</i>  | <i>CH5</i>  | <i>CH6</i>      | <i>CH7</i>   | <i>CH8</i>   | <i>CH9</i>   | <i>CH10</i>       | <i>CH11</i> | <i>CH12</i> | <i>CH13</i> | <i>CH14</i> |               |
|             | (mm)                | (mm)        | (mm)        | (mm)        | (mm)        | (mm)            | (mm)         | (mm)         | (mm)         | (mm)              | (mm)        | (mm)        | (mm)        | (mm)        |               |
| <b>F0</b>   | 0,00                | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00            | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00              | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 10:35:48      |
| <b>F1/2</b> | 0,41                | 0,54        | 0,43        | 0,55        | 0,24        | 16,09           | 15,54        | 14,95        | 16,29        | 0,16              | 0,47        | 0,21        | 0,56        | 0,26        | 10:44:12      |
| <b>F1</b>   | 1,03                | 1,27        | 1,03        | 1,22        | 0,73        | 32,86           | 31,92        | 31,08        | 32,66        | 0,84              | 1,08        | 0,49        | 1,10        | 0,80        | 10:56:11      |
| <b>F1</b>   | <b>1,15</b>         | <b>1,28</b> | <b>1,04</b> | <b>1,22</b> | <b>0,85</b> | <b>33,17</b>    | <b>32,14</b> | <b>31,12</b> | <b>32,88</b> | <b>0,98</b>       | <b>1,09</b> | <b>0,49</b> | <b>1,11</b> | <b>0,91</b> | 11:11:27      |
| <b>F2</b>   | 0,54                | 0,04        | -0,15       | -0,02       | 0,37        | 1,37            | 1,15         | 1,17         | 1,99         | 0,43              | 0,05        | 0,02        | -0,07       | 0,33        | 11:20:10      |
| <b>F2</b>   | 0,56                | 0,03        | -0,16       | -0,03       | 0,39        | 1,22            | 1,00         | 0,95         | 1,93         | 0,45              | 0,04        | 0,02        | -0,08       | 0,34        | 11:24:27      |

| <b>C2</b>   | <i>Spalla ovest</i> |             |             |              |              | <i>Mezzeria</i> |              |              |              | <i>Spalla est</i> |             |             |              |              | <i>Orario</i> |
|-------------|---------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| <i>Fase</i> | <i>CH1</i>          | <i>CH2</i>  | <i>CH3</i>  | <i>CH4</i>   | <i>CH5</i>   | <i>CH6</i>      | <i>CH7</i>   | <i>CH8</i>   | <i>CH9</i>   | <i>CH10</i>       | <i>CH11</i> | <i>CH12</i> | <i>CH13</i>  | <i>CH14</i>  |               |
|             | (mm)                | (mm)        | (mm)        | (mm)         | (mm)         | (mm)            | (mm)         | (mm)         | (mm)         | (mm)              | (mm)        | (mm)        | (mm)         | (mm)         |               |
| <b>F0</b>   | 0,00                | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 0,00            | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00              | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 11:27:59      |
| <b>F1</b>   | 3,93                | 1,98        | 1,08        | -0,05        | -3,41        | 49,56           | 36,28        | 23,98        | 13,88        | 4,40              | 1,78        | 0,44        | -0,13        | -2,85        | 11:35:44      |
| <b>F1</b>   | <b>4,08</b>         | <b>2,01</b> | <b>1,09</b> | <b>-0,07</b> | <b>-3,40</b> | <b>49,86</b>    | <b>36,47</b> | <b>23,98</b> | <b>13,89</b> | <b>4,51</b>       | <b>1,80</b> | <b>0,45</b> | <b>-0,14</b> | <b>-2,84</b> | 11:45:23      |
| <b>F2</b>   | 0,67                | 0,15        | 0,08        | -0,01        | -0,12        | 0,91            | 0,23         | -0,29        | -0,97        | 1,09              | 0,13        | 0,03        | -0,13        | -0,42        | 11:56:47      |
| <b>F2</b>   | 0,69                | 0,11        | 0,05        | 0,00         | -0,07        | 0,82            | 0,11         | -0,27        | -0,84        | 1,12              | 0,11        | 0,02        | -0,13        | -0,29        | 12:08:27      |

| <b>C3</b>   | <i>Spalla ovest</i> |             |             |              |              | <i>Mezzeria</i> |              |             |              | <i>Spalla est</i> |             |             |              |              | <i>Orario</i> |
|-------------|---------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|-------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| <i>Fase</i> | <i>CH1</i>          | <i>CH2</i>  | <i>CH3</i>  | <i>CH4</i>   | <i>CH5</i>   | <i>CH6</i>      | <i>CH7</i>   | <i>CH8</i>  | <i>CH9</i>   | <i>CH10</i>       | <i>CH11</i> | <i>CH12</i> | <i>CH13</i>  | <i>CH14</i>  |               |
|             | (mm)                | (mm)        | (mm)        | (mm)         | (mm)         | (mm)            | (mm)         | (mm)        | (mm)         | (mm)              | (mm)        | (mm)        | (mm)         | (mm)         |               |
| <b>F0</b>   | 0,00                | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,01         | 0,00            | 0,00         | 0,00        | 0,00         | 0,00              | 0,00        | 0,00        | 0,00         | 0,00         | 12:10:20      |
| <b>F1</b>   | 5,07                | 1,68        | 0,36        | -1,73        | -6,17        | 35,96           | 22,11        | 7,86        | -6,43        | 5,45              | 1,51        | 0,07        | -0,56        | -5,30        | 12:15:32      |
| <b>F1</b>   | <b>5,23</b>         | <b>1,70</b> | <b>0,36</b> | <b>-1,79</b> | <b>-6,22</b> | <b>36,16</b>    | <b>22,11</b> | <b>7,67</b> | <b>-6,43</b> | <b>5,59</b>       | <b>1,53</b> | <b>0,07</b> | <b>-0,56</b> | <b>-5,38</b> | 12:22:09      |
| <b>F2</b>   | 0,30                | 0,02        | 0,05        | -0,06        | 0,09         | -0,08           | -0,27        | -0,09       | -0,53        | 0,45              | 0,02        | -0,01       | -0,05        | -0,09        | 12:30:33      |
| <b>F2</b>   | 0,30                | 0,00        | 0,05        | -0,05        | 0,07         | -0,12           | -0,35        | -0,03       | -0,55        | 0,45              | 0,01        | -0,01       | -0,04        | -0,01        | 12:35:10      |

| <b>C4</b>   | <i>Spalla ovest</i> |              |              |              |              | <i>Mezzeria</i> |              |              |              | <i>Spalla est</i> |             |             |             |             | <i>Orario</i> |
|-------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| <i>Fase</i> | <i>CH1</i>          | <i>CH2</i>   | <i>CH3</i>   | <i>CH4</i>   | <i>CH5</i>   | <i>CH6</i>      | <i>CH7</i>   | <i>CH8</i>   | <i>CH9</i>   | <i>CH10</i>       | <i>CH11</i> | <i>CH12</i> | <i>CH13</i> | <i>CH14</i> |               |
|             | (mm)                | (mm)         | (mm)         | (mm)         | (mm)         | (mm)            | (mm)         | (mm)         | (mm)         | (mm)              | (mm)        | (mm)        | (mm)        | (mm)        |               |
| <b>F0</b>   | 0,00                | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00            | 0,00         | 0,00         | 0,00         | 0,00              | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 0,00        | 12:37:10      |
| <b>F1</b>   | -0,05               | -0,13        | -0,10        | -0,10        | -0,04        | 10,46           | 10,48        | 10,63        | 11,35        | 0,53              | 1,14        | 0,50        | 1,24        | 0,75        | 12:41:12      |
| <b>F1</b>   | <b>0,00</b>         | <b>-0,13</b> | <b>-0,10</b> | <b>-0,11</b> | <b>-0,08</b> | <b>10,42</b>    | <b>10,50</b> | <b>10,53</b> | <b>11,20</b> | <b>0,57</b>       | <b>1,15</b> | <b>0,50</b> | <b>1,25</b> | <b>0,78</b> | 12:46:45      |
| <b>F2</b>   | 0,09                | -0,04        | -0,10        | -0,03        | -0,02        | -0,32           | -0,30        | -0,20        | 0,12         | 0,04              | 0,00        | 0,00        | 0,01        | 0,08        | 12:54:28      |



### 3 CARATTERIZZAZIONE DINAMICA – PROVA N° 3598/VR

Lo scopo dell'indagine dinamica è quello di individuare sperimentalmente le frequenze libere di vibrazione del ponte per poterle confrontare con quelle teoriche.

Va inoltre tenuto in considerazione che i risultati sperimentali ottenuti, essendo legati a tutti gli elementi geometrici e meccanici della struttura, rappresentano un valido strumento di controllo nel tempo dell'eventuale variazione della capacità portante e delle condizioni generali del materiale.

#### 3.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La strumentazione impiegata per le rilevazioni è così composta:

- 6 accelerometri piezoelettrici marca PCB modello 393A03:
  - sensibilità: 1000 mV/g (102 mV/(m/s<sup>2</sup>),
  - gamma di misura: ± 5 g (± 49 m/s<sup>2</sup>),
  - gamma di frequenza (± 5%): 0,5 ÷ 2000Hz,
  - campo da 0,5 Hz a 2000 Hz,
  - risoluzione (1 – 10.000 Hz): 0,00001 g rms (0.0001 m/s<sup>2</sup> rms).
- apparecchiatura per l'acquisizione dei dati modello *Data shuttle 16*;
- software di elaborazione *DasyLab*.

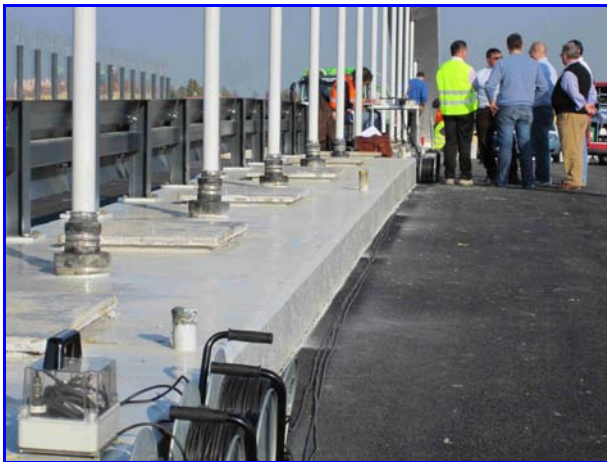


Foto 11: Vista degli accelerometri



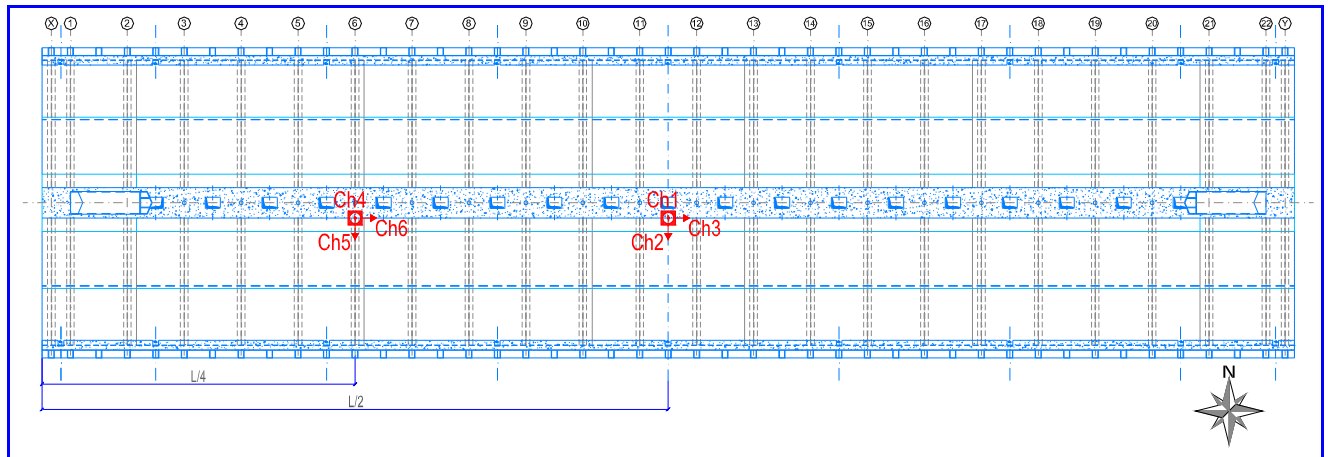
Foto 12: Automezzo di sollecitazione



### 3.2 MODALITA' ESECUTIVE

La metodologia utilizzata per la caratterizzazione dinamica è basata sul rilevamento delle oscillazioni indotte da un impulso applicato attraverso il passaggio di un automezzo sul ponte fatto transitare sopra dei “dossi artificiali” posizionati in mezzeria per creare un impulso più evidente.

Le acquisizioni sono state effettuate utilizzando sei accelerometri posizionati nella mezzeria ed al quarto luce del ponte, come da schema successivo:



*Fig. 10: Schema di posizionamento della coppia di accelerometri*

Gli accelerometri sono stati disposti come indicato nella tabella di seguito:

| Accelerometro | Direzione      | Verso                |
|---------------|----------------|----------------------|
| Ch 1          | Z <sub>1</sub> | Verticale<br>alto    |
| Ch 2          | X <sub>1</sub> | Trasversale<br>sud   |
| Ch 3          | Y <sub>1</sub> | Longitudinale<br>est |
| Ch 4          | Z <sub>1</sub> | Verticale<br>alto    |
| Ch 5          | X <sub>1</sub> | Trasversale<br>sud   |
| Ch 6          | Y <sub>1</sub> | Longitudinale<br>est |



### 3.3 RISULTATI

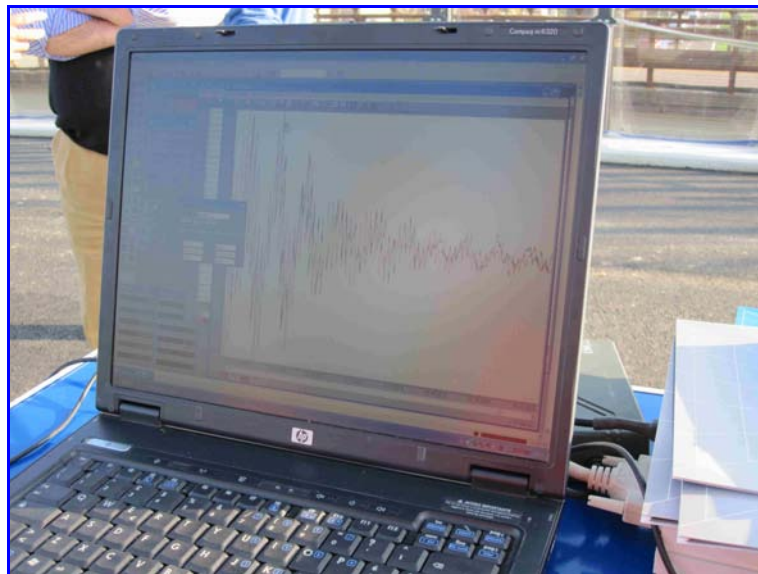


Foto 13: Acquisizione dei dati in cantiere

Di seguito sono riportati oscillogrammi e spettrogrammi relativi all'acquisizione più significativa. I grafici seguenti sono stati elaborati con filtro passa basso 10 Hz.

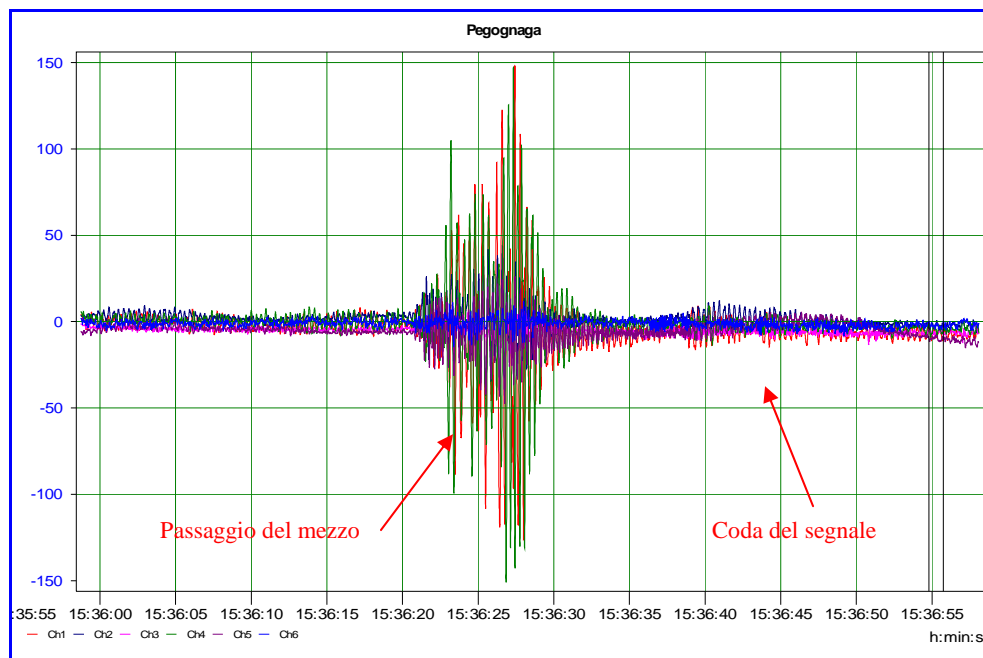
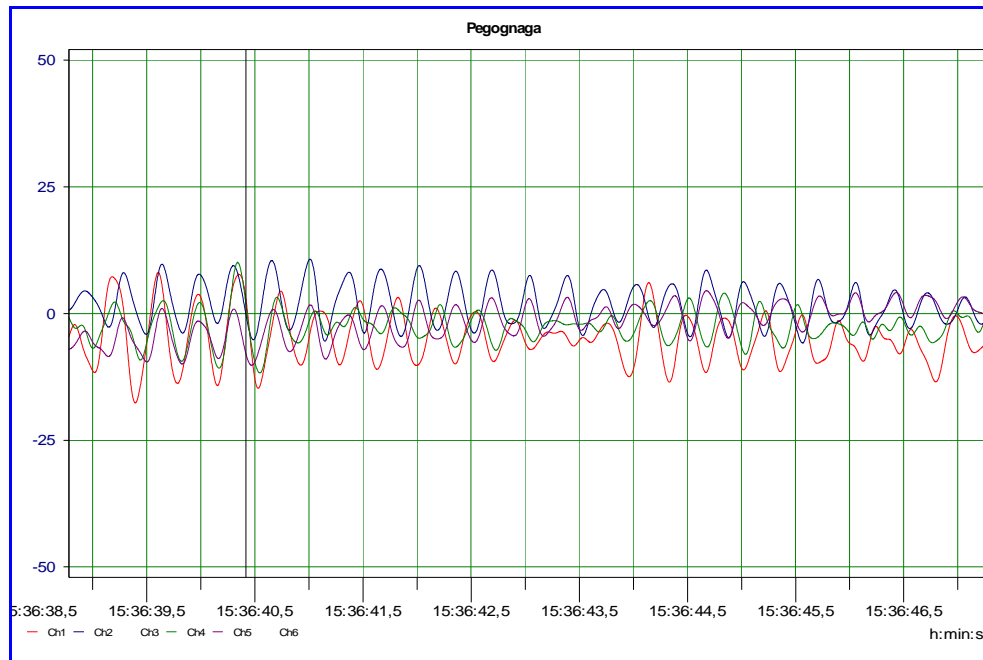
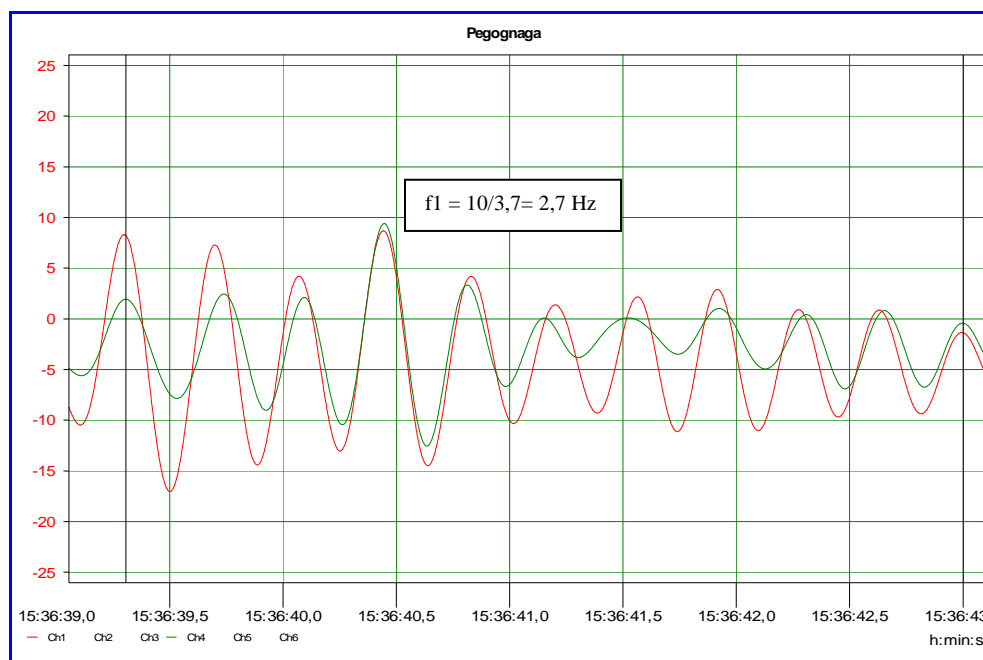


Grafico n. 1: Segnale acquisito



*Grafico n. 2: Ingrandimento della coda del segnale*

Di seguito è evidenziata una finestra temporale del segnale acquisito dai canali **Ch1** e **Ch2** in direzione verticale; si possono contare 10 oscillazioni in un intervallo di 3,7 secondi, pari ad una frequenza  $f_1 = 10 / 3,7 = 2,7$  Hz. Le oscillazioni sono in fase.

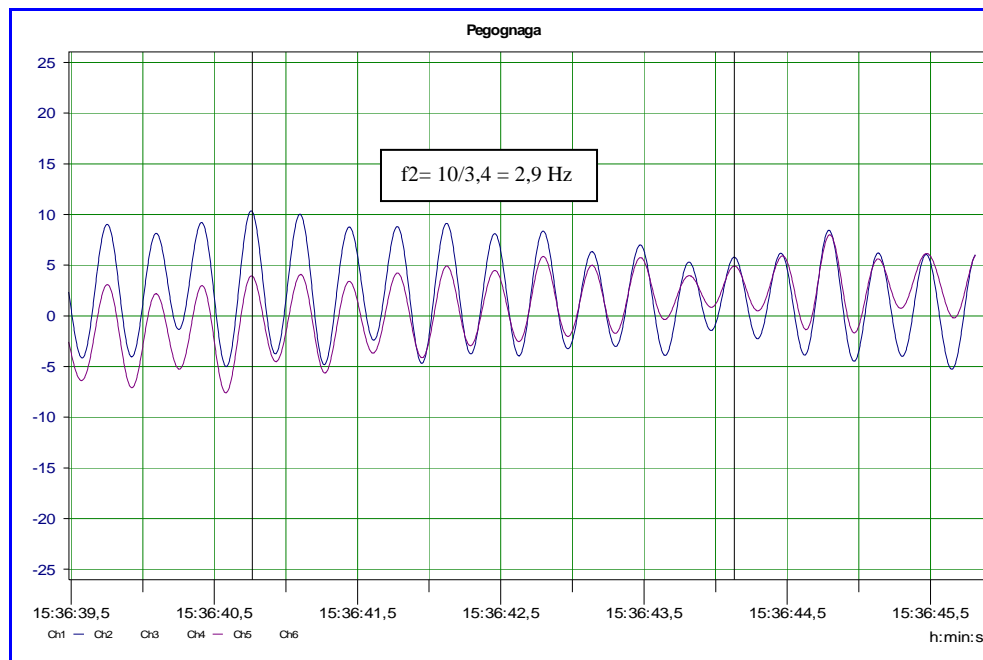


*Grafico n. 3: Oscillogramma del segnale in direzione verticale*



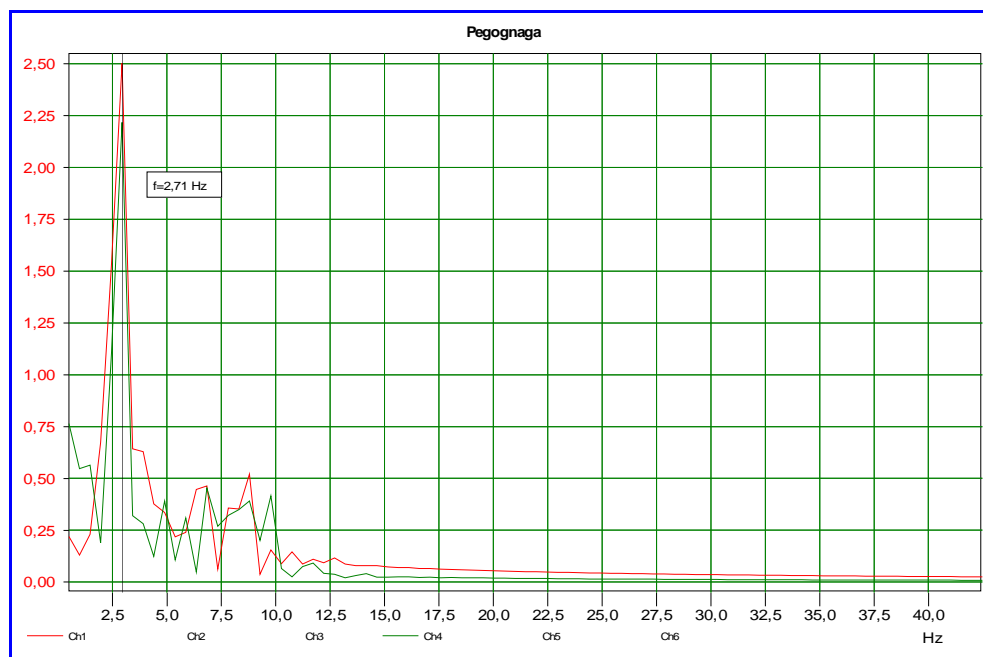


Riportiamo poi, una finestra temporale del segnale acquisito dai canali **Ch3** e **Ch4** in direzione trasversale; si possono contare 10 oscillazioni in un intervallo di 3,4 secondi, pari ad una frequenza  $f_2 = 10 / 3,4 = 2,9$  Hz. Le oscillazioni sono in fase.



*Grafico n. 4: Oscillogramma dei segnali in direzione trasversale*

L'elaborazione nel dominio delle frequenze delle acquisizioni, ottenuta con la trasformata di Fourier, ci fornisce gli spettri seguenti, che confermano le frequenze rilevate nel dominio dei tempi; per i sensori verticali:



*Grafico n. 5: Spettrogramma del segnale*



Per quelli trasversali:

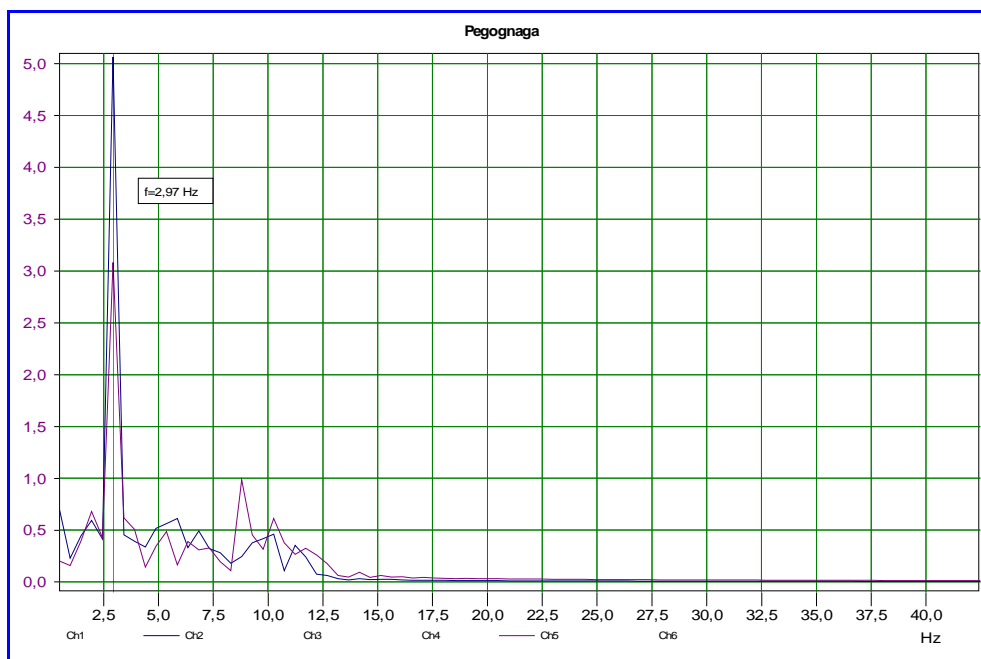


Grafico n. 6: Spettrogramma del segnale

Riassumendo:

**Frequenze sperimentali individuate**

| Canale   | Direzione   | Frequenza (Hz) |
|----------|-------------|----------------|
| Ch1, Ch4 | Verticale   | 2,7            |
| Ch3, Ch5 | Trasversale | 2,9            |

Verona, 09 Novembre 2009

Il relatore  
*dott. ing Andrea Palermo*

*4 EMME Service S.p.A.*  
Il Direttore del Centro di Verona  
*geom. Paolo Bassi*

RELAZIONE REVISIONATA DA:  
*geom. Simone Marcolini*